

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Автоматизированный электропривод»

В. В. Логвин

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

**Методические указания
к контрольным работам по одноименной дисциплине
для студентов специальности 1-53 01 05
«Автоматизированные электроприводы»
заочной формы обучения**

Электронный аналог печатного издания

Гомель 2008

УДК 621.313(075.8)
ББК 31.261я73
Л69

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
заочного факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 5 от 27.03.2006 г.)*

Рецензент: доц. каф. «Электроснабжение» ГГТУ им. П. О. Сухого канд. техн. наук
О. Г. Широков

Логвин, В. В.

Л69 Специальные электрические машины : метод. указания к контрол. работам по одноим. дисциплине для студентов специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» заоч. формы обучения / В. В. Логвин. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2008. – 25 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://gstu.local/lib>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-420-707-0.

Рассмотрены вопросы исследования процессов в специальных электрических машинах, даны задания, состоящие из практических задач и теоретических вопросов, а также рекомендации по выполнению контрольной работы.

Для студентов специальности 1-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы» заочной формы обучения.

**УДК 621.313(075.8)
ББК 31.261я73**

ISBN 978-985-420-707-0

© Логвин В. В., 2008
© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2008

ТАХОГЕНЕРАТОРЫ

Тахогенераторами называют электрические микромашины, работающие в генераторном режиме и служащие для преобразования скорости вращения в пропорциональный электрический сигнал. При этом закон преобразования определяется выходной характеристикой тахогенератора, т. е. зависимостью между входной величиной – скоростью вращения вала ω и выходной – напряжением $U_{\text{ВЫХ}}$ в выходной обмотке.

Уравнение выходной характеристики идеального тахогенератора в общем случае

$$U_{\text{ВЫХ}} = k_{\text{УС}} \omega = k_{\text{УС}} \frac{d\theta}{dt}, \quad (1)$$

где $k_{\text{УС}}(s)$ – статический коэффициент усиления (крутизна выходной характеристики [$^{\text{В}}/\text{об/мин}$]); θ – угол поворота ротора тахогенератора.

Уравнение (1) показывает, что тахогенератор можно использовать для электромеханического дифференцирования, если функцию задавать в виде угла поворота ротора.

Конструкция тахогенераторов практически не отличается от конструкции соответствующих типов электрических микродвигателей.

По конструкции и принципу действия тахогенераторы можно подразделить на три основные группы: *постоянного тока*, *асинхронные* и *синхронные переменного тока*.

Основные требования, предъявляемые к тахогенераторам, состоят в следующем:

- 1) минимальная амплитудная погрешность, под которой понимают отклонение выходной характеристики от линейной зависимости;
- 2) минимальная фазовая погрешность, под которой понимают изменение фазы выходного напряжения при изменении режима работы;
- 3) максимальный коэффициент усиления;
- 4) малый момент инерции ротора;
- 5) малая электромагнитная постоянная времени.

Величина амплитудной погрешности ΔU определяется как разность между выходным напряжением, соответствующим данной скорости вращения при идеальной выходной характеристике, и действительным выходным напряжением.

Величина фазовой погрешности $\Delta\beta$ определяется как разность между углом β сдвига векторов напряжения возбуждения и выходно-

го напряжения идеального тахогенератора, у которого β не зависит от скорости вращения, и действительным углом.

Тахогенераторы постоянного тока по принципу действия и конструктивному оформлению представляют собой электрические коллекторные машины постоянного тока с независимым электромагнитным (рис. 1, а) или магнитоэлектрическим возбуждением.

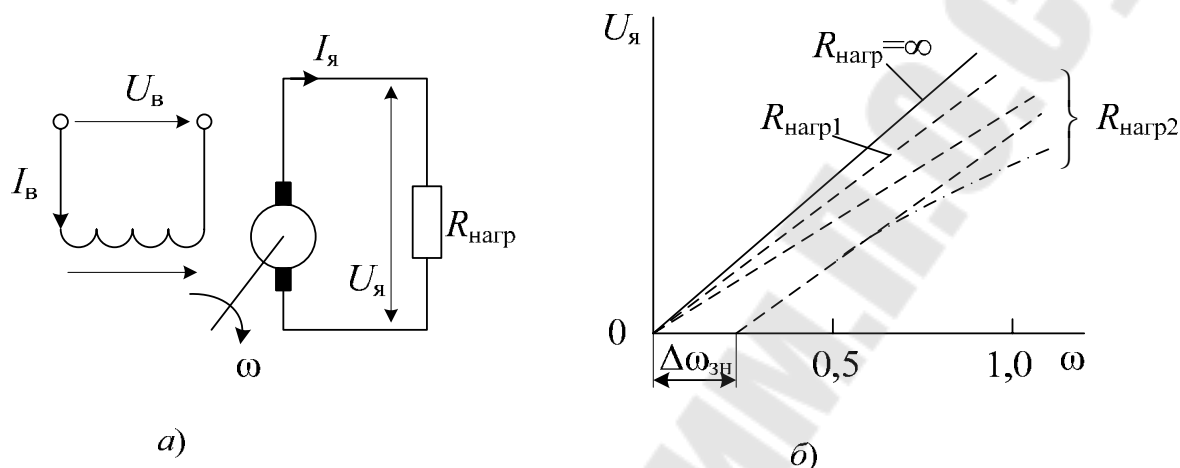


Рис. 1. Схема и выходные характеристики тахогенератора постоянного тока

Выходной характеристикой тахогенератора постоянного тока является зависимость величины напряжения на зажимах якоря U от скорости вращения якоря ω при постоянном магнитном потоке возбуждения Φ и постоянном сопротивлении нагрузки $R_{\text{нагр}}$. Из теории электрических машин известно, что величина ЭДС якоря $E_{\text{я}}$ прямо пропорциональна магнитному потоку возбуждения и скорости вращения якоря. Значит, при постоянном магнитном потоке можно записать:

$$E_{\text{я}} = k_E \omega = k_E \frac{d\theta}{dt}, \quad (2)$$

где k_E – постоянная машины, равная $k\Phi$; k – конструктивный коэффициент; θ – угол поворота якоря тахогенератора.

Выражение (2) – это уравнение выходной характеристики тахогенератора постоянного тока при холостом ходе, т. е. при разомкнутой цепи якоря. Данная линейная зависимость показана на рис. 1, б (для $R_{\text{нагр}} = \infty$). Значения скорости ω взяты в относительных единицах.

При подключении обмотки якоря к зажимам прибора или устройства с конечной величиной входного сопротивления и при посто-

явстве магнитного потока возбуждения выходное напряжение будет меньше ЭДС якоря на величину падения напряжения в цепи якоря:

$$U_{\text{я}} = E_{\text{я}} - I_{\text{я}}R_{\text{ц.я}}, \quad (3)$$

где $I_{\text{я}}$ – ток якоря; $R_{\text{ц.я}}$ – сопротивление цепи якоря, равное сумме сопротивлений обмотки $R_{\text{я}}$ и переходного щеточного контакта.

Поскольку величину тока определяют по закону Ома с помощью соотношения

$$I_{\text{я}} = U_{\text{я}} / R_{\text{нагр}}, \quad (4)$$

то

$$U_{\text{я}} = \frac{E_{\text{я}}}{1 + \frac{R_{\text{ц.я}}}{R_{\text{нагр}}}} = \frac{k_E \omega}{1 + \frac{R_{\text{ц.я}}}{R_{\text{нагр}}}}. \quad (5)$$

Уравнение (5) свидетельствует о линейности выходной характеристики тахогенератора постоянного тока в случае постоянства магнитного потока возбуждения и сопротивления переходного щеточного контакта.

На рис. 1, б представлены выходные характеристики, соответствующие уравнению (5) для двух конечных значений сопротивления нагрузки $R_{\text{нагр}1}$ и $R_{\text{нагр}2}$; причем $R_{\text{нагр}1} > R_{\text{нагр}2}$.

Однако выходная характеристика реального тахогенератора может отклоняться от линейной зависимости (5), т. е. появляется амплитудная скоростная погрешность. Это объясняется двумя факторами.

Во-первых, при нагрузке тахогенератора возникает реакция якоря, ослабляющая поток возбуждения. Результирующий поток при нагрузке можно представить как

$$\Phi_{\text{нагр}} = \Phi - \Delta\Phi_{\text{р}}, \quad (6)$$

где Φ – поток при холостом ходе; $\Delta\Phi$ – изменение потока, вызванное размагничивающим действием реакции якоря и пропорциональное току якоря.

Следовательно, ЭДС якоря при нагрузке $E_{\text{я.нагр}}$ не является постоянной величиной для данной скорости вращения якоря, а зависит от величины нагрузки и определяется выражением:

$$E_{\text{я.нагр}} = k\omega\Phi_{\text{нагр}}. \quad (7)$$

Во-вторых, при работе тахогенератора на нагрузку постоянным следует считать не сопротивление переходного контакта, а падение напряжения $U_{щ}$ в нем. Это соответствует характеру зависимости сопротивления графита, из которого выполняют щеточные контакты, от плотности тока в нем. Тогда, очевидно, напряжение на зажимах якоря тахогенератора при нагрузке будет определяться уравнением

$$U_{я} = E_{я.нагр} - U_{щ} - I_{я}R_{я}. \quad (8)$$

Преобразуем это выражение с учетом (4), (6) и (7):

$$U_{я} = \frac{k_E \omega - U_{щ}}{1 + \frac{kk_p \omega + R_{я}}{R_{нагр}}}, \quad (9)$$

где $k_p = \Delta\Phi_p / I_{я}$ – коэффициент пропорциональности между током якоря и потоком $\Delta\Phi_p$.

Выражение (9) является уравнением выходной характеристики тахогенератора постоянного тока с учетом размагничивающего действия реакции якоря и постоянства падения напряжения в щеточном контакте. Анализ выражения (9) показывает, что:

1) выходная характеристика является нелинейной (в знаменателе стоит ω);

2) выходная характеристика начинается не из нуля, т. к. при малой скорости вращения якоря ЭДС меньше падения напряжения в контакте коллектор–щеткой ($k_E \omega < U_{щ}$). Это значит, что тахогенератор имеет зону нечувствительности $\Delta\omega_{з.н.}$, т. е. диапазон скоростей, в пределах которого выходное напряжение равно нулю.

Выходная характеристика, построенная по уравнению (9) для сопротивления нагрузки $R_{нагр2}$, показана на рис. 1, б (штрихпунктирной линией).

Если принять за идеальную $U_{я.и}$ линейную выходную характеристику (5), то выражение относительной амплитудной погрешности, вызванной реакцией якоря, можно представить как разность (5) и (9) при $U_{щ} = 0$, отнесенную к $U_{я.и}$:

$$\Delta U = \frac{U_{я.и} - U_{я}}{U_{я.и}} = \frac{1}{1 - \frac{R_{я} + R_{нагр}}{kk_p \omega}}. \quad (10)$$

Погрешность, определенная по (10), называется расчетной.

Для повышения линейности выходной характеристики целесообразно нагружать тахогенератор на возможно большее внешнее сопротивление $R_{\text{нагр}}$ и использовать небольшой диапазон скоростей вращения ($\omega < 0,5$), т. к. в этом случае реакция якоря незначительна. Весьма высокая линейность характеристик у тахогенераторов, выполненных на базе машины постоянного тока с полым или дисковым якорем, потому что у таких машин, как указывалось, снижается действие реакции якоря (меньше k_p).

Значительное уменьшение зоны нечувствительности в тахогенераторах постоянного тока получают, применяя металлические щетки с серебряными напайками в местах прикосновения к коллектору, у которых вольт-амперная характеристика линейная. Зона нечувствительности сужается с увеличением коэффициента усиления:

$$\Delta\omega_{\text{з.н}} = U_{\text{щ}}/k_{\text{ус}}. \quad (11)$$

Статический коэффициент усиления тахогенератора, характеризующий соотношение между выходным напряжением на зажимах обмотки якоря и скоростью вращения якоря, можно определить из выражения (9):

$$k_{\text{ус}} = \frac{dU_{\text{я}}}{d\omega} = \frac{\left(1 + \frac{R_{\text{я}}}{R_{\text{нагр}}}\right)k_E + U_{\text{щ}} \frac{kk_p}{R_{\text{нагр}}}}{\left(1 + \frac{R_{\text{я}} + kk_p\omega}{R_{\text{нагр}}}\right)^2}. \quad (12)$$

Из формулы (12) видно, что в общем случае $k_{\text{ус}}$ является нелинейной функцией скорости вращения якоря. Если размагничивающим действием реакции якоря в конкретном случае можно пренебречь, т. е. принять $k_p = 0$, то выражение (12) преобразуется следующим образом:

$$k_{\text{ус}} = \frac{k_E}{1 + \frac{R_{\text{я}}}{R_{\text{нагр}}}}. \quad (13)$$

При этом допущении коэффициент $k_{\text{ус}}$ не зависит от скорости вращения якоря. Он определяется конструктивными параметрами, пропорционален напряжению возбуждения машины (через коэффициент k_E) и увеличивается с ростом сопротивления нагрузки $R_{\text{нагр}} \gg R_{\text{я}}$ коэффициент $k_{\text{ус}} = 3-100$ Мв/об/мин.

Варианты заданий выбираются по двум последним цифрам зачетной книжки.

Задание 1

1. Выбрать тахогенератор постоянного тока из табл. 3 по заданию табл. 1 для двигателя с номинальной частотой вращения $n_{дв}$.

2. По номинальным данным выбранного тахогенератора построить выходные характеристики $U_{я} = f(\omega)$ для двух случаев:

- сопротивление нагрузки $R_{нагр} = \infty$;
- сопротивление нагрузки задано (табл. 2).

Примечание: размагничивающим действием реакции якоря и падением напряжения в щеточном контакте пренебречь.

Определить изменение выходного напряжения при номинальной частоте вращения двигателя, если отклонение температуры от номинальной в помещении составило Δt (табл. 2).

Пояснить, почему произошло изменение (увеличение, уменьшение) выходного напряжения.

Номинальную температуру в производственном помещении принять $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Таблица 1

Скорость двигателя	Предпоследняя цифра зачетной книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$n_{дв}$, об/мин	900	1200	1800	2100	2900	3400	4000	5000	6500	7600

Таблица 2

Условия работы	Предпоследняя цифра зачетной книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$R_{нагр}$, Ом	500	1500	3000	10000	2000	15000	100000	1000	4000	5000
Δt , $^{\circ}\text{C}$	-30	-20	-10	10	20	30	40	-40	-30	-20

Таблица 3

Технические данные тахогенераторов

Тип ТГП	$n_{ном}$, об/мин	S , мВ/(об/мин)	$R_{я}$, кОм	$\Delta u/T$, %/ $^{\circ}\text{C}$
ТГП-1	7000	5	3	0,1
ТГП-1А	3000	4	1,2	0,12
ТГП-3	9000	4	10	0,04
ТГП-3А	3000	4	3	0,04

Окончание табл. 3

Тип ТГП	$n_{\text{ном}}$, об/мин	S , мВ/(об/мин)	$R_{\text{я}}$, кОм	$\Delta u/T$, %/°C
ТГП-3Б	3500	4	10	0,04
ТГП-3Д	3000	4	10	0,04
ТГП-5	6000	4	10	0,04
1,6ТГП-2	3000	2	10	0,04
2,5ТГП-6	6000	6	10	0,02
2,5ТГП-10	3000	10	6	0,04
ТП20-6-0,5	3000	6	10	0,04
ТП32-25-0,1	3000	25	25	0,02
ТП32-16-2,5	3000	16	2	0,02
ТП50-100-1	1500	100	10	0,1

БЫСТРОДЕЙСТВИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И СРАВНЕНИЕ ИХ СВОЙСТВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДАХ УПРАВЛЕНИЯ

Асинхронные исполнительные двигатели, применяемые в устройствах автоматики, служат для преобразования подводимого к ним электрического сигнала в механическое перемещение вала. При заданном тормозном моменте частота вращения двигателя должна строго соответствовать подводимому напряжению и меняться при изменении его величины или фазы. Таким образом, *исполнительные двигатели являются управляемыми двигателями.*

В качестве исполнительных двигателей переменного тока применяют главным образом двухфазные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором (рис. 2, 3). Одна из обмоток статора, называемая обмоткой возбуждения, подключается к сети переменного тока с постоянным действующим значением напряжения U_B . Ко второй обмотке статора, называемой обмоткой управления, подводится напряжение управления U_y от управляющего устройства.

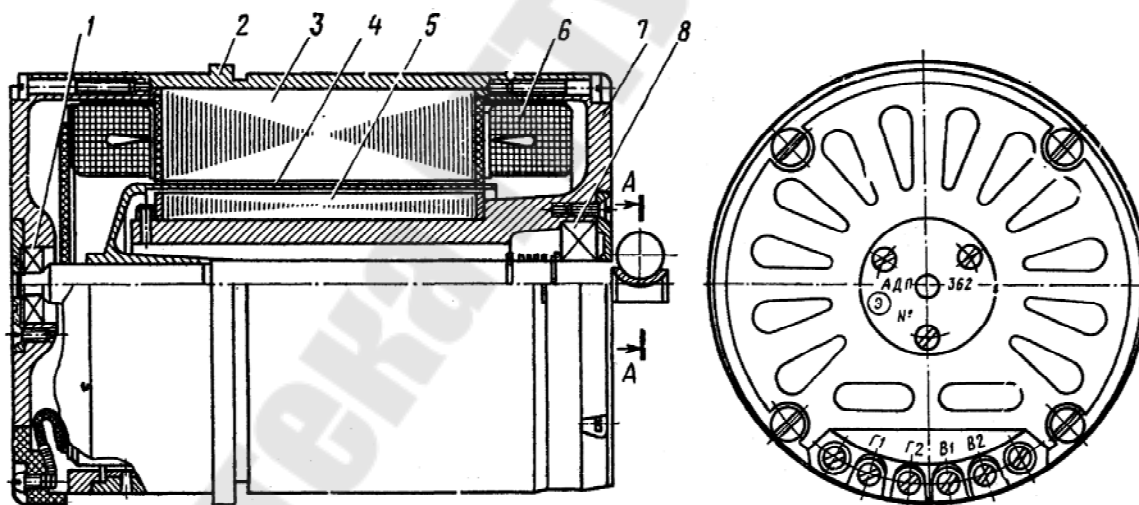


Рис. 2. Двигатель с полым немагнитным ротором АДП-362:
1 – подшипник; 2 – корпус; 3 – пакет статора; 4 – полый статор;
5 – сердечник; 6 – обмотка статора; 7 – передний щит;
8 – подшипник

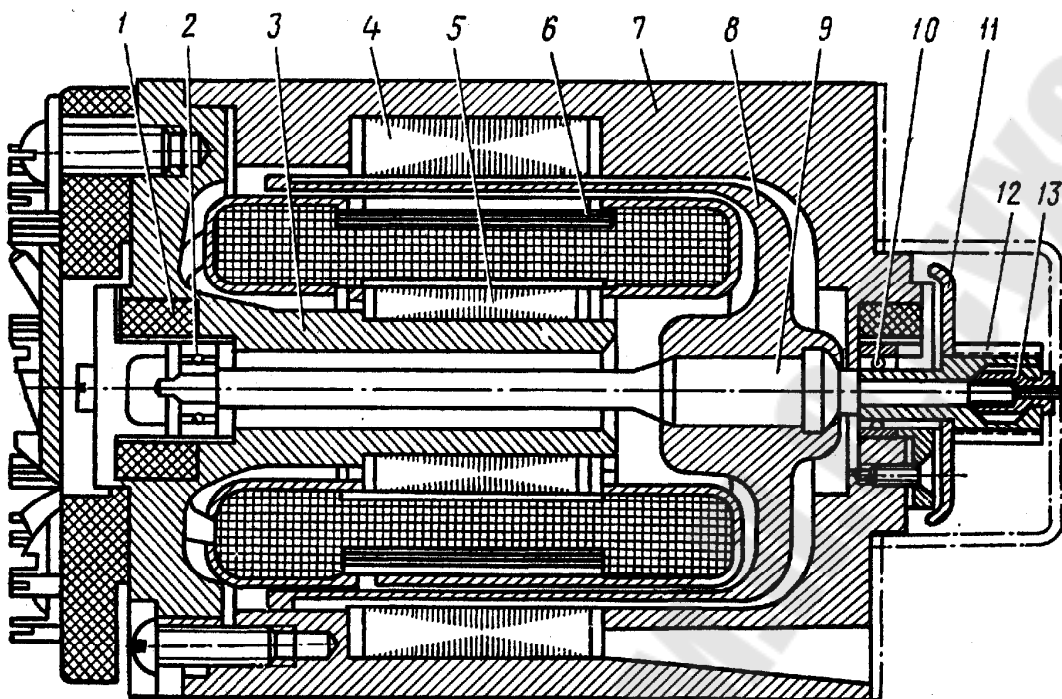


Рис. 3. Двигатель с полым немагнитным ротором ДИД-0,6-ТВ:
 1 – аккумулятор масла; 2 – подшипник; 3 – втулка статора;
 4 – сердечник; 5 – пакет статора; 6 – обмотка статора; 7 – корпус;
 8 – полый ротор; 9 – вал; 10 – подшипник; 11 – защитный экран;
 12 – трибка; 13 – гайка

Частоту вращения исполнительных двигателей регулируют путем изменения напряжения, подаваемого на обмотку управления, по величине и фазе. При этом изменяется форма вращающегося магнитного поля: из кругового оно становится эллиптическим. Эллиптическое магнитное поле можно представить в виде двух круговых полей, вращающихся в виде двух круговых полей, вращающихся в прямом и обратном направлениях относительно направления вращения ротора. Воздействие на ротор обратно вращающегося поля создает тормозной момент и приводит к изменению формы механической характеристики двигателя, вследствие чего изменяется и частота вращения ротора. Чем больше выражена эллиптичность поля, тем значительно уменьшается частота вращения. Однако при этом возрастают и потери мощности в двигателе.

Различают три применяемых на практике способа управления частотой вращения исполнительного двигателя: амплитудное, фазовое и амплитудно-фазовое.

Электромеханическая постоянная времени. Одним из основных требований, предъявляемых к исполнительному двигателю, является его быстродействие. Время разгона исполнительного двигателя определяется главным образом электромеханическими процессами, так как из-за значительного активного сопротивления ротора электромагнитные переходные процессы, происходящие в двигателе, очень быстротечны. Обычно о быстродействии двигателя судят по величине его электромеханической постоянной времени T_M , которая примерно на порядок выше электромагнитной постоянной времени $T_{эм} = L/R$, обусловленной индуктивностью двигателя. Значение T_M определяется из условий разгона ротора двигателя при статическом моменте на валу $M_{ст} = 0$. При этом основное уравнение динамики

$$M = M_{ст} + J d\omega/dt \quad (14)$$

принимает вид

$$M = J d\omega/dt, \quad (15)$$

где J – момент инерции вращающихся масс.

Для идеализированного двигателя при линейной механической характеристике

$$M = M_{п}(1 - \omega/\omega_0), \quad (16)$$

где $M_{п}$ – пусковой момент; ω_0 – угловая скорость холостого хода.

Следовательно, с учетом (16) уравнение (15) может быть записано в виде

$$M_{п}(1 - \omega/\omega_0) = J d\omega/dt \quad (17)$$

или

$$\frac{d\omega}{\omega_0 - \omega} = \frac{M_{п}}{J\omega_0} dt = \frac{1}{T_M} dt, \quad (18)$$

где

$$T_M = J\omega_0/M_{п}. \quad (19)$$

Решая (18), получим уравнение

$$\omega = \omega_0(1 - e^{-t/T_M}), \quad (20)$$

по которому можно построить кривую разгона двигателя (рис. 4). Из нее видно, что угловая скорость вращения ω стремится асимптотиче-

ски к установившемуся значению ω_0 ; при $t = T_M$ угловая скорость $\omega = \omega_0(1 - e^{-1}) = 0,633\omega_0$. Следовательно, постоянную T_M можно рассматривать как время разгона двигателя до угловой скорости, соответствующей $0,633\omega_0$.

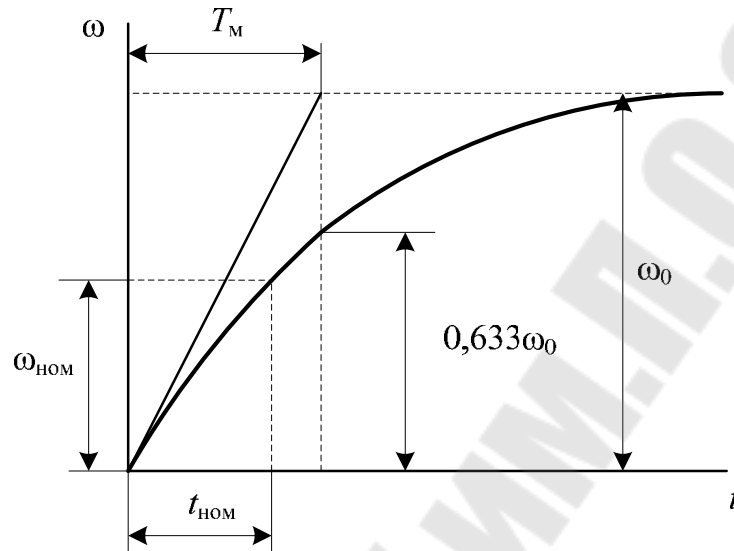


Рис. 4. Кривая разгона исполнительного двигателя

В двигателе с амплитудным управлением $\omega_0 = v_0\omega_1 = 2\alpha_3\omega_1/(1 + \alpha_3^2)$, т. к. $v = n/n_1 = \omega/\omega_1$, где ω_1 – синхронная угловая скорость, соответствующая круговому вращающемуся полю и пусковому моменту $M_{II} = \alpha_3 M_K$, поэтому

$$T_M = 2\omega_1 J / [M_K (1 + \alpha_3^2)]. \quad (21)$$

Из формулы (21) следует, что при амплитудном управлении постоянная времени T_M растет с уменьшением эффективного коэффициента сигнала α_3 , т. к. снижается величина пускового момента.

При фазовом управлении $\omega_0 = \alpha_3\omega_1$ и $M_{II} = \alpha_3 M_K$, поэтому

$$T_M = J\omega_1 / M_K. \quad (22)$$

Следовательно, при фазовом управлении постоянная времени T_M не зависит от коэффициента сигнала α_3 . Это объясняется тем, что при фазовом управлении механические характеристики параллельны – при уменьшении коэффициента сигнала прямо пропорционально снижаются момент при пуске и угловая скорость вращения при холостом ходе. В результате время разгона не изменяется.

При амплитудном управлении уменьшение коэффициента сигнала α_s приводит к такому же уменьшению момента, но угловая скорость вращения при холостом ходе снижается в меньшей степени. Так, например, при $\alpha_s = 0,5$ пусковой момент в два раза меньше, чем при $\alpha_s = 1$, а угловая скорость вращения при холостом ходе составляет 0,8 от ее значения при $\alpha_s = 1$. Естественно, что время разгона двигателя с уменьшением коэффициента сигнала растет.

При определении электромеханической постоянной времени реального двигателя следовало бы исходить из точного уравнения механической характеристики, которая является нелинейной. Однако такой расчет был весьма трудоемким, поэтому практически его ведут по (21) и (22), исходя из спрямленной характеристики.

Из (21) и (22) следует, что постоянная времени T_m зависит от отношения J/M_k и угловой скорости вращения $\omega_1 = 2\pi f_1/p$. Поэтому T_m возрастает с увеличением момента инерции ротора J и частоты f_1 питающей сети и уменьшается при увеличении числа полюсов p . Двигатели, рассчитанные на работу при повышенной частоте тока, несмотря на то, что их обычно выполняют многополюсными, имеют большую постоянную времени, чем машины, рассчитанные на работу при частоте питающей сети 50 Гц.

В табл. 4 приведены ориентировочные значения постоянной времени при круговом поле для исполнительных двигателей различной конструкции мощностью 15–30 Вт.

Таблица 4

Тип исполнительного двигателя	Постоянная времени T_m , с, при частоте питающей сети, Гц	
	50	400
С полым немагнитным ротором	0,005–0,1	0,02–0,15
С ротором в виде беличьей клетки: обычной конструкции	0,2–1,0	0,3–1,5
сквозной конструкции	–	0,007–0,06
С полым стальным ротором	1,0–2,0	1,5–3,0

Из табл. 4 следует, что наибольшим быстродействием обладает двигатель с полым немагнитным ротором. Постоянная времени T_m двигателя с ротором в виде беличьей клетки также невелика, несмотря на существенное увеличение момента инерции, т. к. этот двигатель имеет большой вращающий момент на единицу массы, чем двигатель

с полым немагнитным ротором (особенно это относится к двигателю сквозной конструкции). В двигателе с полым стальным ротором величина T_m значительно увеличивается как из-за сравнительно большого момента инерции ротора, так и из-за малого вращающего момента. При мощности от долей ватта до 10 Вт наибольшим быстродействием и лучшими энергетическими показателями обладает двигатель с ротором типа «беличья клетка».

Иногда быстродействие исполнительного двигателя характеризуют временем разгона $t_{\text{ном}}$ до номинальной угловой скорости $\omega_{\text{ном}}$ (см. рис. 4). Номинальным режимом исполнительного двигателя обычно считают режим, соответствующий максимальной механической мощности, которая для идеализированного двигателя имеет место при $\omega_{\text{ном}} = 0,5\omega_0$. Поэтому, положив в (20) $\omega = 0,5\omega_0$ и $t = t_{\text{ном}}$, получим

$$t_{\text{ном}} = T_m \ln 2 = 0,693T_m. \quad (23)$$

Сравнение свойств двигателей при различных методах управления. На основании проведенного анализа свойств асинхронных исполнительных двигателей при различных методах управления можно сделать следующие выводы:

а) *линейность механических и регулировочных характеристик выше всего при фазовом управлении.* Амплитудно-фазовое управление дает наибольшее отклонение от прямой линии, хотя его регулировочная характеристика и ближе всего к критерию $v = 2(\alpha_\beta - m)$. Для фазового управления в качестве критерия линейности регулировочной характеристики следует брать уравнение $v = \sin \beta - m$;

б) *мощность управления при амплитудном и амплитудно-фазовом управлении практически одинакова и пропорциональна квадрату коэффициента сигнала.* При фазовом управлении коэффициент сигнала практически не влияет на мощность управления, т. е. при малых коэффициентах сигнала мощность управления больше, чем при других методах управления;

в) *степень использования* (электромагнитная мощность при круговом поле и неподвижном роторе) *для всех трех способов управления одинакова, если одинаково напряжение возбуждения;*

г) *амплитудно-фазовое управление осуществляется наиболее просто, т. к. оно не требует специальных устройств для сдвига фаз между напряжениями управления и возбуждения.* Это обстоятельство объясняет широкое применение этого метода (конденсаторной схемы) в системах автоматики.

Задание 2

Определить электромеханическую постоянную времени T_m и построить кривую разгона исполнительного двигателя на холостом ходе.

Построить кривую разгона исполнительного двигателя с рабочим механизмом на валу, обладающим моментом инерции J_m .

Рассчитать электромеханические постоянные времени при амплитудном и фазовом управлении и определить время пуска до номинальной угловой скорости $\omega_{ном}$ без нагрузки на валу для заданных способов управления.

Исходные данные приведены в табл. 5 и 6.

Таблица 5

Параметры двигателя	Предпоследняя цифра зачетной книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$M_k, \text{Н} \cdot \text{м}$	0,0055	0,014	0,09	0,054	0,17	0,07	0,12	0,01	0,022	0,028
$n_0, \text{об/мин}$	12500	6000	2650	8800	2650	8600	8600	8000	6000	10000
$J \cdot 10^{-7}, \text{кг} \cdot \text{м}^2$	78	70	70	166	166	390	390	30	24,5	36

Таблица 6

Условия работы	Предпоследняя цифра зачетной книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
α_s	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,4	0,5	0,6
$J_m \cdot 10^{-5}, \text{кг} \cdot \text{м}^2$	10	100	200	150	300	500	100	50	70	250

Задание 3

Расчет мощностей, вращающего момента и потерь асинхронного исполнительного двигателя.

1. По исходным данным табл. 7 и 8 рассчитать и построить зависимости электромагнитной мощности от скольжения $P_3 = f(s)$, электромагнитного момента $M_3 = f(s)$, полной электромагнитной мощности $P = f(s)$.

2. Сделать выводы о возможности самохода при данном способе управления.

Таблица 7

Параметры двигателя	Предпоследняя цифра зачетной книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Тип двигателя									
	АДП-262	АДП-362	АДП2-63А	АДП-363А	ДИД-0,1	ДИД-0,5У	ДИД-0,6ТВ	ДИД-1ТВ	ДИД-2ТВ	ДИД-3ТВ
U_B , В	110	110	110	110	36	36	36	36	36	36
P_{RH} , Вт	9,5	19	27,8	46,4	0,1	0,4	0,6	1	2	3
f , Гц	50	50	500	500	400	400	400	400	400	400
$2p$	2	2	6	6	2	2	2	2	2	4
r_{Sy} , Ом	44	27,5	34,6	15,5	361	133	134	75,6	37,8	11
x_{Sy} , Ом	28	19	164	121	73	55	40	38	20	14
x_{my} , Ом	225	213	342	310	260	284	238	263	204	58
r_{Ry} , Ом	392	236	483	241	346	396	200	221	146	83
ξ_m	0,57	0,9	0,71	1,29	0,75	0,72	1,19	1,19	1,4	0,7
ρ_S	0,12	0,12	0,07	0,06	1,05	0,34	0,67	0,34	0,26	0,13
ξ_S	0,07	0,07	0,08	0,34	0,29	0,14	0,2	0,17	0,14	0,17

Таблица 8

Условия работы	Предпоследняя цифра зачетной книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Способ управления									
	Амплитудное управление					Амплитудно-фазовое управление				
α_e	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
β_e , град.	–	–	–	–	–	25	40	60	75	80

Указания к выполнению задания 3

1. Определяется электромагнитная мощность при пуске при круговом поле:

$$P_{\text{э.ко}} = \frac{2U_{\text{в}}}{r_{\text{Ry}}} \frac{1}{\gamma_S^2 (1 + s_{\text{к}}^2) + 2\rho_S},$$

где $s_{\text{к}}$ – критическое скольжение симметричной машины, представляющее собой сочетание исходных относительных параметров схемы замещения:

$$s_{\text{к}} = \frac{1}{\xi_m \gamma_S} \sqrt{\rho_S^2 + (\xi_m + \xi_S)^2},$$

где $\gamma_S = \sqrt{\rho_S^2 + \xi_S^2}$ – полное сопротивление обмотки управления, о. е.

2. Электромагнитную мощность определяем в зависимости от способа управления:

– при амплитудном управлении:

$$P_{\text{э}} = P_{\text{э.ко}} \left[\left(\frac{1 + \alpha_e}{2} \right)^2 f_S - \left(\frac{1 - \alpha_e}{2} \right)^2 f_{2-s} \right];$$

– при амплитудно-фазовом управлении:

$$P_{\text{э}} = P_{\text{э.ко}} \left[\frac{1 + 2\alpha_e \sin \beta + \alpha_e^2}{4} f_S - \frac{1 - 2\alpha_e \sin \beta + \alpha_e^2}{4} f_{2-s} \right].$$

Здесь введено выражение относительного момента (относительной электромагнитной мощности) симметричной машины

$$f_S = \left(s_{\text{к}} + \frac{1}{s_{\text{к}}} + 2 \frac{\rho_S}{\gamma_S^2 s_{\text{к}}} \right) / \left(\frac{s_{\text{к}}}{s} + \frac{s}{s_{\text{к}}} + \frac{2\rho_S}{\gamma_S^2 s_{\text{к}}} \right),$$

которое представляет собой момент прямой последовательности в относительных единицах при круговом поле. Для нахождения момента обратной последовательности f_{2-s} в данном выражении вместо s надо подставить $2 - s$.

3. Электромагнитный момент определяем из выражения

$$M_{\text{э}} = \frac{30P_{\text{э}}}{\pi n_c},$$

где $n_c = \frac{60f}{p}$ – синхронная частота вращения; p – число пар полюсов.

Определяем полную механическую мощность

$$P = P_s(1 - s).$$

Изменяя в п. 2–4 скольжение s от 0 до 1, построить заданные характеристики и дать заключение о наличии либо отсутствии самохода у данного двигателя при заданных условиях управления.

Задание 4

Ответить на вопросы.

Вариант вопросов выбирается в соответствии с последней и предпоследней цифрой зачетной книжки (табл. 9).

Таблица 9

Предпоследняя цифра зачетной книжки	Последняя цифра зачетной книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1	4	7	10	13	16	19	22	25	28
	2	5	8	11	14	17	20	23	26	29
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
1	31	34	37	40	3	6	9	12	15	18
	32	35	38	1	4	7	10	13	16	19
	33	36	39	2	5	8	11	14	17	20
2	21	24	27	30	33	36	39	2	5	8
	22	25	28	31	34	37	40	3	6	9
	23	26	29	32	35	38	1	4	7	10
3	11	14	17	20	23	26	29	32	35	38
	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39
	13	16	19	22	25	28	31	34	37	40
4	2	5	8	11	14	17	20	23	26	29
	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
	4	7	10	13	16	19	22	25	28	31
5	32	35	38	1	4	7	10	13	16	19
	33	36	39	2	5	8	11	14	17	20
	34	37	40	3	6	9	12	15	18	21
6	22	25	28	31	34	37	40	3	6	9
	23	26	29	32	35	38	1	4	7	10
	24	27	30	33	36	39	2	5	8	11
7	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39
	13	16	19	22	25	28	31	34	37	40
	14	17	20	23	26	29	32	35	38	1

Окончание табл. 9

Предпоследняя цифра зачетной книжки	Последняя цифра зачетной книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
	4	7	10	13	16	19	22	25	28	31
	5	8	11	14	17	20	23	26	29	32
9	33	36	39	2	5	8	11	14	17	20
	34	37	40	3	6	9	12	15	18	21
	35	38	1	4	7	10	13	16	19	22

Контрольные вопросы

1. Опишите конструктивные особенности, назначение и способы управления исполнительного двигателя постоянного тока.
2. Сравните принцип действия тахогенераторов постоянного и асинхронного тока. Дайте сравнительную оценку их достоинств и недостатков. Почему магнитная система ТГ постоянного тока независимого возбуждения выполняется насыщенной?
3. Опишите принцип действия сельсинов в индикаторном режиме.
4. Опишите принцип действия реактивного синхронного микродвигателя. Объясните физический смысл реактивного момента. От чего зависит его величина?
5. Рассмотрите основные характеристики исполнительного двигателя постоянного тока при якорном управлении. Опишите достоинства и недостатки якорного управления в сравнении с полюсным управлением.
6. Опишите принцип действия асинхронного тахогенератора.
7. Опишите работу сельсинов в трансформаторном режиме. По какому закону меняется выходное напряжение сельсина-приемника?
8. Что такое самоход асинхронного двигателя с полым немагнитным ротором? Как он устраняется? Дайте графические иллюстрации.
9. В результате чего ЭДС на вторичной обмотке пик-трансформатора имеет заостренную форму? Каким образом можно увеличить высоту и ширину пика напряжения пик-трансформатора?
10. Опишите принцип действия шагового двигателя. Какова величина шага при раздельном управлении при следующих условиях: $2p = 4$, $2m = 4$?
11. Опишите принцип действия электромашинного усилителя поперечного поля.
12. Опишите устройство сельсинов. Дайте эскиз магнитной системы бесконтактного сельсина.
13. Перечислите способы управления асинхронными исполнительными двигателями. Сравните характеристики при различных способах управления.
14. Опишите работу электромашинного усилителя под нагрузкой. Каково назначение компенсационной обмотки?
15. Опишите принцип действия шагового двигателя. Каков физический смысл момента в шаговом двигателе?

16. Опишите принцип действия, достоинства и недостатки синхронного тахогенератора.
17. Опишите конструкцию асинхронного двигателя с полым ротором. Дайте его эскиз.
18. Опишите, как практически настраивается компенсация в электромашинном усилителе поперечного поля.
19. Опишите принцип действия поворотного трансформатора в синусно-косинусном режиме.
20. Дайте сравнительную оценку якорного и полюсного управления исполнительного двигателя постоянного тока.
21. Опишите выходную характеристику тахогенератора постоянного тока. От чего зависит линейность и крутизна выходной характеристики?
22. Как устраняется самоход асинхронного двигателя с полым немагнитным ротором? Дайте графические иллюстрации.
23. Опишите принцип действия синхронного реактивного двигателя. Каков физический смысл реактивного момента? Где используют синхронный реактивный двигатель?
24. Опишите работу сельсинов в индикаторном режиме.
25. Дайте понятие о коэффициенте усиления ЭМУ поперечного поля. От каких параметров ЭМУ зависит? Откуда берется энергия на усиление? Почему ЭМУ выполняют высокоскоростными?
26. Опишите принцип действия, достоинства и недостатки асинхронного тахогенератора.
27. Опишите принцип действия реактивного синхронного микродвигателя. Объясните физический смысл реактивного момента. От чего зависит его величина?
28. Опишите работу сельсинов в индикаторном режиме.
29. Как устраняется самоход асинхронного исполнительного двигателя?
30. Опишите работу сельсинов в трансформаторном режиме.
31. Опишите работу ЭМУ поперечного поля в режиме холостого хода.
32. Укажите способы пуска в ход однофазного асинхронного двигателя.
33. Какие особенности характеризуют процессы в универсальном коллекторном двигателе при работе от сети переменного тока?

34. Опишите принцип действия гистерезисного двигателя, постройте механическую характеристику двигателя, объясните смысл гистерезисного момента.

35. Объясните назначение, принцип действия и основные характеристики синхронного тахогенератора.

36. Опишите работу поворотного трансформатора в синусно-косинусном режиме.

37. Опишите работу ЭМУ поперечного поля под нагрузкой, отдельно остановившись на назначении компенсационной обмотки. Как настроить режим нормальной компенсации ЭМУ?

38. Как устраняется явление самохода асинхронного двигателя с полым ротором? Дайте графические иллюстрации.

39. Объясните принцип действия сельсинов в трансформаторном режиме. Начертите схему синхронной связи.

40. Почему при питании постоянным и переменным током подключается неодинаковое число витков в обмотке возбуждения универсального коллекторного двигателя? Объясните характер момента универсального коллекторного двигателя.

Литература

1. Брускин, Д. Э. Электрические машины и микромашины : учеб. для вузов / Д. Э. Брускин, А. Е. Зорохович, В. С. Хвостов. – Москва : Высш. шк., 1981. – 432 с.
2. Кацман, М. М. Электрические машины автоматических систем / М. М. Кацман, Ф. М. Юферов. – Москва : Высш. шк., 1979. – 261 с.
3. Арменский, Е. В. Электрические микромашины / Е. В. Арменский, Г. Б. Фалк. – Москва : Высш. шк., 1975. – 237 с.
4. Лопухина, Е. М. Асинхронные исполнительные микродвигатели для систем автоматики / Е. М. Лопухина. – Москва : Высш. шк., 1988. – 328 с.

Содержание

Тахогенераторы	3
Задание 1	8
Быстродействие исполнительных двигателей и сравнение их свойств при различных методах управления	10
Задание 2	16
Задание 3	17
Задание 4	19
Контрольные вопросы.....	21
Литература	24

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

Логвин Владимир Васильевич

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

**Методические указания
к контрольным работам по одноименной дисциплине
для студентов специальности 1-53 01 05
«Автоматизированные электроприводы»
заочной формы обучения**

Электронный аналог печатного издания

Редактор *Н. В. Гладкова*
Компьютерная верстка *Н. Б. Козловская*

Подписано в печать 18.06.08.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Цифровая печать. Усл. печ. л. 1,63. Уч.-изд. л. 1,44.

Изд. № 184.

E-mail: ic@gstu.gomel.by

<http://www.gstu.gomel.by>

Издатель и полиграфическое исполнение:
Издательский центр учреждения образования
«Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого».

ЛИ № 02330/0131916 от 30.04.2004 г.

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.