

УДК 621.316.722

Э.М. МУСАЛЯМОВ, студент гр. ЭАмв-31(УлГТУ)
Научный руководитель С.В. ГАВРИЛОВА к.т.н., ст. препод. (УлГТУ)
г. Ульяновск

**РАСЧЕТ РЕГУЛЯТОРА НАПРЯЖЕНИЯ И ПЕРЕХОДНЫХ
ПРОЦЕССОВ ПРИ УПРАВЛЯЮЩЕМ И ВОЗМУЩАЮЩЕМ
ВОЗДЕЙСТВИЯХ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ АД**

В процессе разгона двигателя в системе с ограничением тока напряжение на входе регулятора скорости (РС) относительно велико, т.е.

$$(U_{3c} - \omega K_c) F_{pc} > U_{op} \quad (1)$$

При этом условии напряжение на выходе РС будет иметь постоянное значение, равное опорному напряжению U_{op} .

$$U_{op} = U_{3T \max} = \lambda \cdot I_h \cdot K_t = 1,8 \cdot 16 \cdot 0,03 = 0,864 \text{ В}, \quad (2)$$

Это означает, что обратная связь по скорости не влияет на работу, и система будет действовать как разомкнутая. Следовательно:

$$U_{op} F_T \frac{1}{T_m C_p} = \omega, \quad (3)$$

$$U_{op} F_T = i R_{\vartheta} \quad (4)$$

$$F_T = \frac{1}{K_T (2T_x p (T_x p + 1) + 1)} \quad (5)$$

где F_T – передаточная функция замкнутого тока.

Переходя к оригиналам уравнений (3) и (4), получаем следующее:

$$\omega(\tau) = \frac{U_{op}}{c K_T} \frac{2T_x}{T_m} (\tau - 1 + e^{-\tau} \cdot \cos \tau) \quad (6)$$

$$i(\tau) = \frac{U_{op}}{R_{\vartheta} K_T} (1 - e^{-\tau} (\cos \tau + \sin \tau)) \quad (7)$$

где $\tau = \frac{t}{2T_x}$;

Из (7) следует, что после затухания свободных составляющих процесса ток принимает постоянное значение $I_y = U_{op} / R_{\vartheta} K_T$, т.е. величина

тока двигателя в переходном процессе определяется опорным напряжением.

По мере роста скорости разность $(U_{3c} - \omega K_c)F_{PC}$ уменьшается, и в конечной стадии процесса при некотором значении скорости эта разность становится равной опорному напряжению, $(U_{3c} - \omega_{opt} K_c)F_{PC} = U_{op}$.

С этого момента звено с ограничением начинает работать на линейной части характеристики, подключается отрицательная обратная связь по скорости, и напряжение выхода звена ограничения уменьшается до нуля.

$$\omega(\tau) = \frac{0,864}{0,04 \cdot 0,03} \frac{2 \cdot 0,175}{0,16} (\tau - 1 + e^{-\tau} \cdot \cos \tau) = 1575(\tau - 1 + e^{-\tau} \cdot \cos \tau) \quad (8)$$

Таблица 1

τ	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3
t, c	0	0,175	0,35	0,525	0,7	0,875	1,05
$e^{-\tau}$	1	0,6	0,37	0,2	0,137	0,07	0,0508
$\cos \tau$	1	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
$\omega(\tau)$	0	157,46	582,66	1099	1790,6	2472,6	3229,9

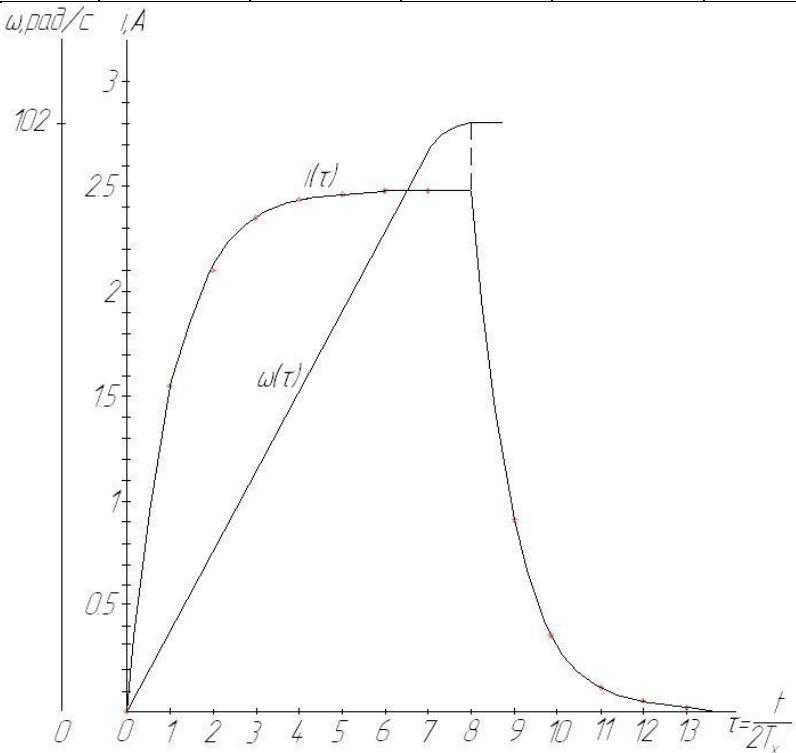


Рис. 1. Переходный процесс при управляющем воздействии в режиме токоограничения

$$i(\tau) = \frac{0,864}{11,59 \cdot 0,03} (1 - e^{-\tau} (\cos \tau + \sin \tau)) = 2,48(1 - e^{-\tau} (\cos \tau + \sin \tau)) \quad (9)$$

**IV Всероссийская молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»
18-20 ноября 2021 года**

306-3

Таблица 2

τ	0	1	2	3	4	5	6	7
t, c	0	1,35	0,7	1,05	1,4	1,75	2,1	2,45
$e^{-\tau}$	1	0,37	0,137	0,0508	0,0188	0,007	0,0026	0,0009
$\cos \tau$	1	0,999	0,999	0,998	0,997	0,996	0,994	0,993
$\sin \tau$	0	0,017	0,03	0,0523	0,07	0,087	0,10	0,122
$i(\tau)$	0	1,55	2,13	2,35	2,43	2,46	2,47	2,48

Исходное уравнение системы с учетом действия сигнала управления U_{3c} и сигнала нагрузки $I_c R_s$ имеет вид

$$[(U_{3c} - \omega K_c) F_{pc} F_T - I_c R_s] \frac{1}{T_m C_p} = \omega, \quad (10)$$

где $F=1/[2T_x p(T_x p + 1) + 1]K_T$ – передаточная функция замкнутого контура тока;

$$F_{pc} = \frac{1 + 4T_T p}{4T_T p} \frac{T_m c K_T}{2K_c T_T} - \text{передаточная функция РС.}$$

Для определения влияния на систему только нагрузки в этом уравнении следует положить $U_{3c}=0$. Обозначив изменение скорости двигателя, связанное с воздействием нагрузки, через $\Delta\omega$, получим

$$- \Delta\omega K_c F_{pc} F_T - I_c R_s = T_m C_p \Delta\omega, \quad (11)$$

откуда

$$\frac{\Delta\omega}{I_c R_s} C(p) = \frac{1}{K_c F_{pc} F_T + T_m C_p} \quad (12)$$

После соответствующих преобразований получается:

$$\frac{\Delta\omega}{I_c R_s} C(p) = \frac{\Delta\omega}{\Delta\omega_c} = \frac{-8T_x}{T_m} \frac{4T_x p [2T_x p(T_x p + 1) + 1]}{8T_x p \{4T_x p [2T_x p(T_x p + 1) + 1] + 1\}} \quad (13)$$

Оригинал уравнения (7) соответствует переходной функции:

$$\frac{\Delta\omega}{\Delta\omega_c}(\tau) = \frac{8T_x}{T_m} e^{-2\tau} [(1,5\tau) \sin 2\tau - 2\tau \cos 2\tau] \quad (14)$$

где $\tau = \frac{t}{8T_x}$, $\Delta\omega_c = \frac{I_c R_s}{C}$.

Учитывая, что $iR_s = IR_s + T_m C_p \Delta\omega$, и исключая $\Delta\omega$ из уравнения (7), получают:

$$\frac{i}{I_c}(p) = \frac{1 + 8T_x p}{8T_x p \{4T_x p [2T_x p(T_x p + 1) + 1] + 1\} + 1} \quad (15)$$

Оригинал уравнения (9) соответствует переходной функции:

**IV Всероссийская молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»
18-20 ноября 2021 года**

306-4

$$\frac{i}{I_c}(\tau) = 1 - e^{-2\tau} [(1 + 6\tau) \cos 2\tau + 2(\tau - 1) \sin 2\tau], \quad (16)$$

где $\tau = \frac{t}{8T_x}$.

$$\frac{\Delta\omega}{\Delta\omega_c}(\tau) = \frac{8 \cdot 0,175}{0,16} e^{-2\tau} [(1,5\tau) \sin 2\tau - 2\tau \cos 2\tau] = 8,75 e^{-2\tau} [(1,5\tau) \sin 2\tau - 2\tau \cos 2\tau] \quad (17)$$

Таблица 3

τ	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
t, c	0	0,7	1,4	2,1	2,8	3,5	4,2	4,9	5,6
$e^{-2\tau}$	1	0,37	0,137	0,05	0,02	0,007	0,003	0,001	0,0004
$1,5\tau$	0	0,75	1,5	2,25	3	3,75	4,5	5,25	6
2τ	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$\sin 2\tau$	0	0,018	0,035	0,0523	0,069	0,087	0,105	0,122	0,14
$\cos 2\tau$	1	0,999	0,999	0,998	0,997	0,996	0,995	0,993	0,99
$\frac{\Delta\omega}{\Delta\omega_c}$	0	-3,19	-2,33	-1,28	-0,62	-0,3	-0,12	-0,05	-0,02

$$\frac{i}{I_c}(\tau) = 1 - e^{-2\tau} [(1 + 6\tau) \cos 2\tau + 2(\tau - 1) \sin 2\tau]$$

Таблица 4

τ	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
t, c	0	0,7	1,4	2,1	2,8	3,5	4,2	4,9	5,6
$e^{-2\tau}$	1	0,37	0,137	0,05	0,02	0,007	0,003	0,001	0,0004
6τ	0	3	6	9	12	15	18	21	24
$\sin 2\tau$	0	0,018	0,035	0,0523	0,069	0,087	0,105	0,122	0,14
$\cos 2\tau$	1	0,999	0,999	0,998	0,997	0,996	0,995	0,993	0,99
$\frac{i}{I_c}$	0	-0,47	0,042	0,47	0,75	0,887	0,95	0,98	0,99

IV Всероссийская молодежная
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»
18-20 ноября 2021 года

306-5

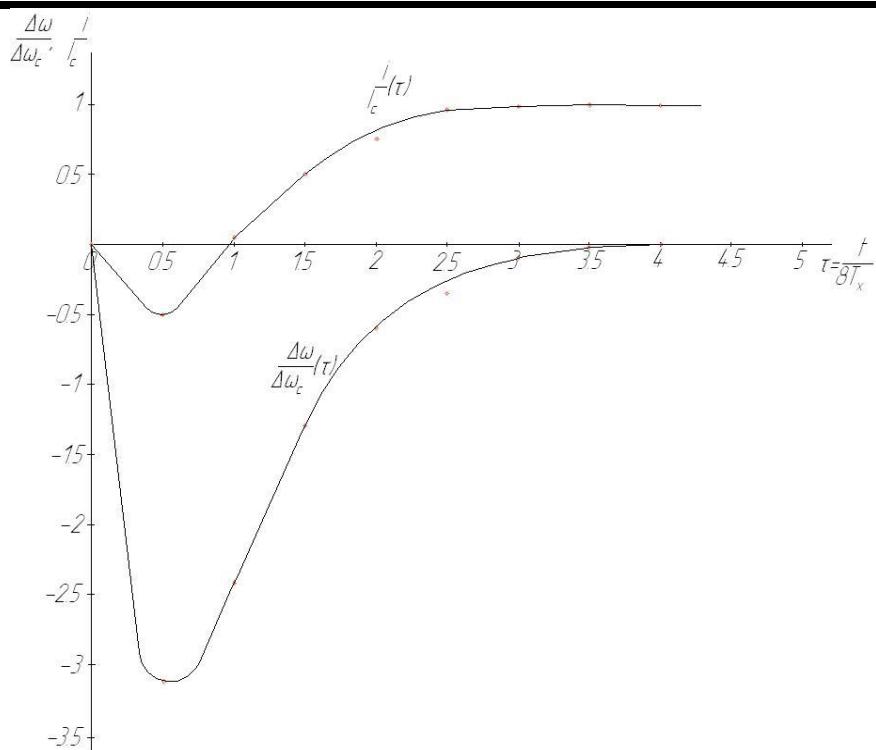


Рис. 2. Переходные процессы, построенные в относительных единицах

Список литературы:

1. Дмитриев В.Н., Кислицин А.Л. Общие вопросы машин переменного тока. Асинхронные машины: Учебное пособие по курсу «Электромеханика». – Ульяновск: УлГТУ, 2000. – 92с.
2. ГОСТ12.4.113-82. ССБТ. Работы учебные лабораторные. Общие требования безопасности.
3. ГОСТ 12.1.019-79. ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
4. ГОСТ 12.2.003-91. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
5. Элементы систем электропривода: методические указания/сост.: Доманов В.И., Доманов А.В. – Ульяновск: УлГТУ, 2005. – 24с.

Информация об авторах:

Мусалямов Эльмир Менсурovich, студент гр. ЭАмв-31, УлГТУ, 432027, ул. Северный Венец, д.32, elmir44@mail.ru

Гаврилова Светлана Владимировна, к.т.н., старший преподаватель, УлГТУ, 432027, ул. Северный Венец, д.32, s.gavrilova.1990@mail.ru