

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ СИСТЕМ МОДАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРИ НАЛИЧИИ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ И КООРДИНАТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ

Мотченко А.И., Столяров В.Н.

Донбасский горно-металлургический институт
vad@altc.lg.ua

The article describes possible way of achievement of power saving conditions in modal control systems. The method is based on the reduction of converter's voltage reserve, which is usually required to keep normal functioning under parametric and coordinate disturbances. The use of special adaptive algorithms allows to select converter with less maximal voltage without breakdown of transitional processes.

Оптимизация энергетических режимов электроприводов на современном этапе промышленного и социального развития является актуальной проблемой, решение которой позволяет повысить эффективность производства и снизить уровень затрат. В работе [1] указаны основные пути минимизации потерь в ходе технологического процесса за счет электропривода. Применение регулируемого электропривода как средства энергосбережения выдвигает новую задачу - повышение энергетических показателей полупроводниковых преобразователей.

Одной из главных причин потерь в регулируемом электроприводе является избыточный запас по напряжению преобразовательного устройства. Особенно актуальна данная проблема в случае применения тиристорных преобразователей с фазовым управлением. Использование преобразователей с ШИМ или транзисторных ключей с организацией в контуре скользящего режима позволяет частично решить проблему, при условии, что частота ШИМ или скользящего режима достаточно высока. Однако повышение частоты ШИМ приводит к росту потерь на коммутацию в полупроводниковых приборах. Частота скользящего режима в большинстве случаев не превышает 1500-2000 Гц вследствие наличия в контуре неучтенных малых постоянных времени и других неидеальностей.

Необходимость увеличения запаса по напряжению преобразователя продиктована стремлением предотвратить потерю управляемости системы во всем предполагаемом диапазоне изменения задающих и возмущающих воздействий. Поскольку задающее воздействие является, как правило, детерминированным, определим требования к запасу по напряжению преобразователя в условиях действия параметрических и координатных возмущений случайного характера для модальной системы управления положением электропривода постоянного тока. Объект управления представляет собой систему тиристорный преобразователь - двигатель постоянного тока, параметры которой даны в табл. 1.

Таблица 1 - Номинальные параметры объекта управления

Наименование	Значение
1. Мощность электродвигателя, кВт	11
2. Номинальное напряжение электродвигателя, В	220
3. Номинальная скорость электродвигателя (ω_H), рад/с	157,08
4. Номинальный ток электродвигателя (I_H), А	60
5. Постоянная времени преобразователя, с	0,003
6. Электромагнитная постоянная времени якорной цепи, с	0,038
7. Электромеханическая постоянная времени системы, с	0,084
8. Коэффициент передачи преобразователя	31
9. Коэффициент передачи механической части	0,04
10. Сопротивление якорной цепи, Ом	0,446
11. Произведение потока двигателя на конструктивную постоянную, Вc	1,23
12. Максимальное напряжение управления, В	10

Релейный алгоритм управления положением согласно [2] имеет вид

$$U_{P\Pi} = U_M \text{sign} [l_\varphi \Delta\varphi - l_\omega \omega - l_I I - l_e E_\Pi], \quad \Delta\varphi = \varphi^* - \varphi, \quad (1)$$

где φ^* - задание на положение; φ , ω , I , E_Π - соответственно положение вала, скорость вращения, ток якоря электродвигателя и ЭДС преобразователя; l_φ , l_ω , l_I , l_e - коэффициенты обратных связей по исходным координатам объекта управления; U_M - максимальное управляющее напряжение.

Исследуем функционирование неадаптивной системы с алгоритмом управления (1) под действием

параметрических и координатных возмущений. Рассмотрим в качестве возмущающих воздействий вариации электромагнитной постоянной времени и статического тока нагрузки. Зададим фактическое значение данных величин в виде:

$$T_{\Sigma} = qT_{\Sigma,НОМ}; \quad (2)$$

$$I_C = qI_{C,НОМ},$$

где q - коэффициент вариации, являющийся случайной величиной. Поскольку значение q не может быть отрицательным, положим

$$q = e^{\nu}, \quad (3)$$

где ν - случайная величина, которая имеет нормальный закон распределения с математическим ожиданием

$$M(\nu) = 0,$$

т.е. наиболее вероятными значениями T_{Σ} и I_C являются их номинальные значения.

Тогда плотность распределения вероятностей величины ν задается выражением

$$f(\nu) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\nu^2}{2\sigma^2}}; \quad f(q) = f(e^{\nu}),$$

где σ - среднее квадратическое отклонение.

Примем в расчетах

$$\sigma = 0,2. \quad (4)$$

Учтем, что вероятность попадания значения ν в пределы областей $\pm 2\sigma$ и $\pm 3\sigma$ составляет

$$P(-2\sigma < \nu < 2\sigma) = 0,954, \quad (5)$$

$$P(-3\sigma < \nu < 3\sigma) = 0,997.$$

Переходя согласно (3) для коэффициента вариации при условии (4) получим

$$P(0,67 < q < 1,492) = 0,954, \quad (6)$$

$$P(0,549 < q < 1,822) = 0,997.$$

Получим с помощью вышеописанной процедуры математического моделирования минимально допустимое по условию асимптотической устойчивости значение максимальной ЭДС преобразователя $E_{ПМ}$ при вариации параметров T_{Σ} и I_C в диапазоне $0,549 < q < 1,822$. Результаты приведены на рис. 1. Здесь же показана кривая плотности вероятностей величины q ($f(q)$).

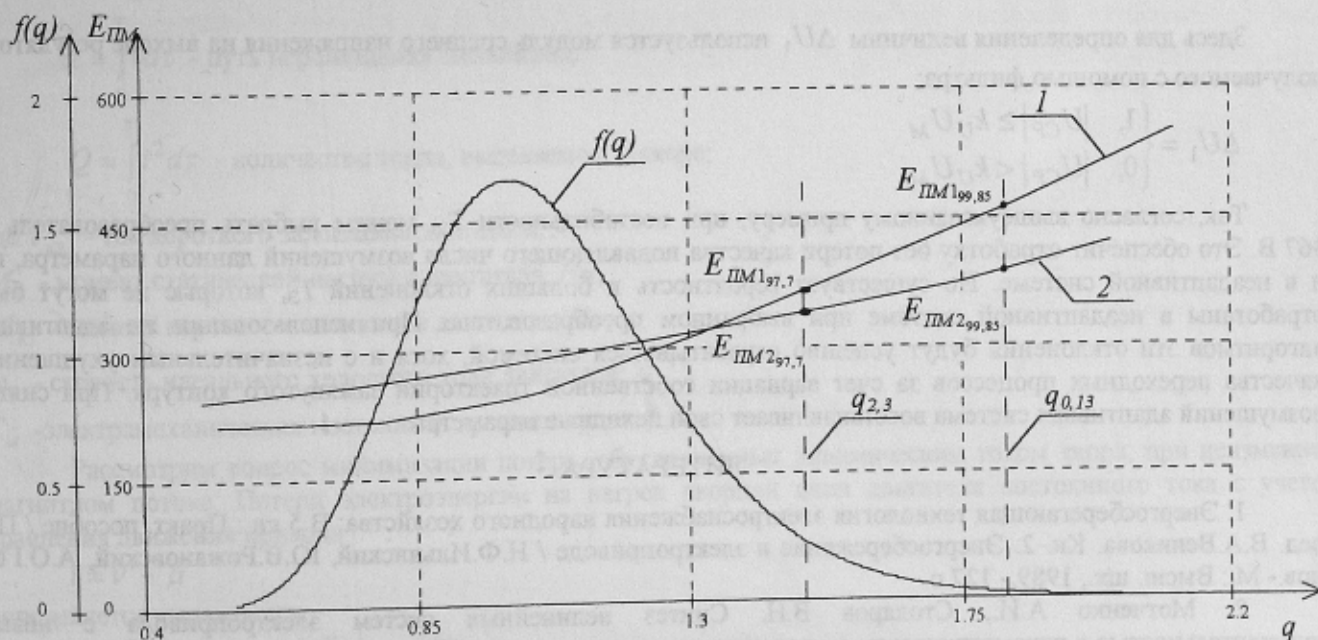


Рисунок 1 - Графики зависимостей минимально-допустимого значения максимальной ЭДС преобразователя от коэффициента вариации T_{Σ} (кривая 1) и I_C (кривая 2)

Из графиков следует, что с увеличением коэффициента вариации требуемый запас по напряжению преобразователя возрастает. При этом для отработки возмущений, лежащих в зоне $q < 1,492$ (вероятность таких возмущений составляет 97,7%) в случае вариации T_{Σ} максимальная ЭДС преобразователя должна

составлять 367 В, а при вариации I_C - 340 В. Но для повышения надежности привода он должен быть способен отработать возмущения и с $q < 1,822$ (вероятность - 99,85%). Тогда требования к максимальной ЭДС резко возрастают и составляют при вариациях $T_Э$ и I_C соответственно 460 В и 387 В.

Эффективное решение данной проблемы возможно при использовании адаптивных алгоритмов управления, синтез и обоснование которых даны в работах [2, 3]. В основу алгоритмов адаптации положен контроль запаса по напряжению преобразователя в переходном процессе. Если величина этого запаса становится ниже некоторого критического значения, алгоритм адаптации включается в работу и обеспечивает вариацию параметров собственной траектории движения системы. Таким образом, происходит переход на траекторию меньшего быстродействия, что снижает требования по напряжению преобразователя и позволяет устранить насыщение регулятора, которое может привести к нежелательным последствиям (колебательность, потеря устойчивости). Найденные алгоритмы адаптации дополняют основной алгоритм управления. В табл. 2 приведены алгоритмы адаптации модальных автоматических систем релейного и непрерывного действия.

Таблица 2 - Выражения алгоритма адаптации для различных варьируемых параметров основного алгоритма управления

Варьируемый параметр	Алгоритм адаптации релейной системы	Алгоритм адаптации непрерывной системы
$f_V = I_\varphi$	$\dot{I}_\varphi = \alpha_0 + \alpha_{\max} \Delta U_1 \text{sign}(U_Y) \text{sign}(\psi_P),$ $\alpha_0 > 0, I_{\varphi,\min} \leq I_\varphi \leq I_{\varphi,\text{ном}},$ $\psi_P = \varphi - \varphi^*$	$\dot{I}_\varphi = \alpha_0 + \alpha_{\max} \Delta U_1 \text{sign}(U_Y) \text{sign}(\psi_P),$ $\alpha_0 > 0, I_{\varphi,\min} \leq I_\varphi \leq I_{\varphi,\text{ном}},$ $\psi_P = \varphi - \varphi^*$
$f_V = I_i$	$\dot{I}_i = \alpha_0 + \alpha_{\max} \Delta U_1 \text{sign}(U_Y) \text{sign}(\psi_P),$ $\alpha_0 < 0, I_{i,\text{ном}} \leq I_i \leq I_{i,\max},$ $\psi_P = I$	$\dot{I}_i = \alpha_0 + \alpha_{\max} \Delta U_1 \text{sign}(U_Y) \text{sign}(\psi_P),$ $\alpha_0 < 0, I_{i,\text{ном}} \leq I_i \leq I_{i,\max},$ $\psi_P = I$
$f_V = \omega_0$ (среднегеометрический корень)	$\dot{\omega}_0 = \alpha_0 + \alpha_{\max} \Delta U_1 \text{sign}(U_Y) \text{sign}(\psi_P),$ $\alpha_0 > 0, \omega_{0,\min} \leq \omega_0 \leq \omega_{0,\max},$ $\psi_P = 3k_0 \omega_0^2 (\varphi - \varphi^*) + 2k_1 \omega_0 a_{12} \omega +$ $+ k_2 a_{12} a_{23} I$	$\dot{\omega}_0 = \alpha_0 + \alpha_{\max} \Delta U_1 \text{sign}(U_Y) \text{sign}(\psi_P),$ $\alpha_0 > 0, \omega_{0,\min} \leq \omega_0 \leq \omega_{0,\max},$ $\psi_P = 4k_0 \omega_0^3 (\varphi - \varphi^*) + 3k_1 \omega_0^2 a_{12} \omega +$ $+ 2k_2 \omega_0 a_{12} a_{23} I + k_3 a_{12} a_{23} a_{34} E_{II}$

Здесь для определения величины ΔU_1 используется модуль среднего напряжения на выходе регулятора, получаемого с помощью фильтра:

$$\Delta U_1 = \begin{cases} 1, & |U_{CP}| \geq k_U U_M \\ 0, & |U_{CP}| < k_U U_M \end{cases} \quad (7)$$

Так, согласно вышеуказанному примеру, при нестабильности $T_Э$, можем выбрать преобразователь на 367 В. Это обеспечит отработку без потери качества подавляющего числа возмущений данного параметра, как и в неадаптивной системе. Но существует вероятность и больших отклонений $T_Э$, которые не могут быть отработаны в неадаптивной системе при выбранном преобразователе. При использовании же адаптивных алгоритмов эти отклонения будут успешно обрабатываться системой, хотя и с незначительным ухудшением качества переходных процессов за счет вариации собственной траектории замкнутого контура. При снятии возмущений адаптивная система восстанавливает свои исходные параметры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Энергосберегающая технология электроснабжения народного хозяйства: В 5 кн.: Практик. пособие / Под ред. В.А.Веникова. Кн. 2. Энергосбережение в электроприводе / Н.Ф.Ильинский, Ю.В.Рожановский, А.О.Горнов. - М.: Высш. шк., 1989. - 127 с.
2. Мотченко А.И., Столяров В.Н. Синтез нелинейных систем электропривода с низкой чувствительностью к параметрическим и координатным возмущениям // Электротехника. - 1999. - №5. - С. 29-32.
3. Столяров В.Н., Мотченко А.И. Синтез релейных адаптивных алгоритмов управления, обеспечивающих вариацию собственной траектории системы без нарушения скользящего режима // Проблемы автоматизированного электропривода. Теория і практика. Вісник ХДПУ. Збірка наукових праць. Тематичний випуск 113. - Харків, ХДПУ. - 2000. - С. 111-113.