Темиров К.О., Кенжекулов К.Н.

РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНЫХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ БЕЗ УЧЕТА ОГРАНИЧЕНИЙ ПО СКОРОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Temirov K.O., Kenzhekulov K.N.

THE CALCULATION OF THE OPTIMAL TRANSIENTS WITHOUT REGARD TO THE LIMITATIONS OF SPEED OF THE MOTOR

УДК. 539. 389. 3.

Разработанная методика оптимизации переходных процессов в электроприводах вклад для осуществления рациональных законов движения рабочих органов механизмов, обеспечивающих выполнение требуемых технологических операций, является главной задачей автоматизированного электропривода. Несмотря на исключительное многообразие производственных механизмов и требований к электроприводу, всегда в решении этой главной задачи важное место занимает выполнение операции пуска и остановки электропривода.

При известных значениях статического момента μ_C, начальной скорости ν_0, оптимального времени $\tau_{опт}=\tau_{зад/2}$ и оптимального перемещения $\varphi_{опт}=\varphi_{зад/2}$ уравнения

$$\tau_{опт}=\frac{C_1}{2\mu_C^3}\ln\frac{i_0-\mu c(\nu_M-\nu_0)}{i_0+\mu c(\nu_M-\nu_0)}-\frac{i_0}{\mu_C^2} \quad (1)$$

$$\varphi_{опт}=\frac{3C_1*2\mu_C^2\nu_0}{4\mu_C^4}*i_0-$$

$$-\frac{3C_1^2-4\mu_C^2C_2}{8\mu_C^5}\ln\frac{i_0-\mu_C(\nu_M-\nu_0)}{i_0+\mu_C(\nu_M-\nu_0)} \quad (2)$$

образуют систему двух уравнений с двумя неизвестными, начальными динамическим током i_0 и максимальной скоростью ν_M.

$$\frac{C_1}{2\mu_C^3}\ln\frac{i_0-\mu_C(\nu_M-\nu_o)}{i_0+\mu_C(\nu_M-\nu_o)}-\frac{i_0}{\mu_C^2}-\frac{\tau_{зад}}{2}=0 \quad (3)$$

$$\frac{3C_1^2-4\mu_C^2C_2}{8\mu_C^5}\ln\frac{i_0-\mu_C(\nu_M-\nu_o)}{i_0+\mu_C(\nu_M-\nu_o)}+\frac{2\mu_C^2\nu_0-3C_1}{4\mu_C^4}i_0+\frac{\varphi_{зад}}{2}=0$$

Эта система уравнений (3) имеет решение, если выражение под логарифмом положительно. Другими словами, при решении системы (3) должны соблюдаться ограничения, связанные с выражением под логарифмом, а также с конструктивным ограничением максимума скорости и тока.

$$\mu_C(\nu_M-\nu_0)<i_0\le i_{доп} \quad (4)$$

$$\nu_0<\nu_M\le\nu_{доп} \quad (5)$$

где $i_{доп}$ $\nu_{доп}$ - максимально допустимые значения тока и скорости.

На рис 1. показана область определения начального динамического тока и максимальной скорости.

Кривая $i_0=\mu_C(\nu_M-\nu_0)$ определяет знак выражения под логарифмом в системе уравнений (3). Поскольку $\nu_M>\nu_0$ и

Область определения начального динамического тока и максимальной скорости

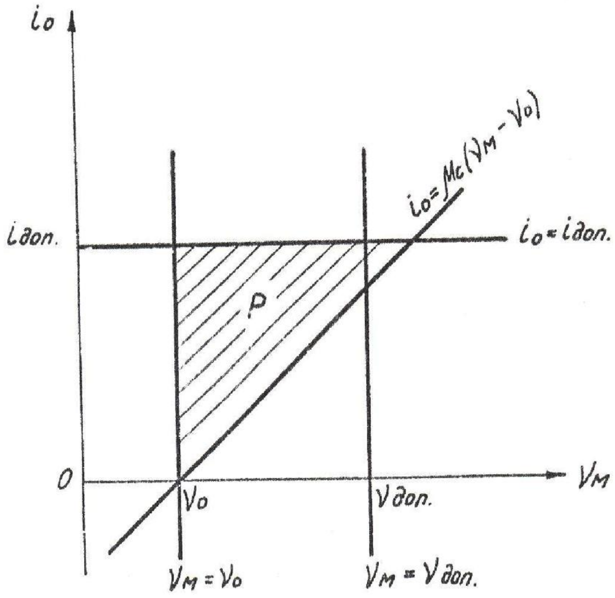

Рис. 1.

$\mu_C > 0$, то $i_0 > 0$. Когда μ_C стремится к нулю, кривая $i_0 = \mu_C(\nu_M - \nu_0)$ совпадает с осью абцисс. Кривые $i_0 = i_{доп}$ и $\nu = \nu_H$ является границей областей управления напряжением и управления полем. Здесь начальная скорость ν_0 фиксирована и равна номинальной скорости ν_H.

Для решения системы уравнений (3) в работе используется метод Ньютона с учетом ограничений (4) и (5).

И заданного перемещения $\varphi_{зад}$ =14. При этом электрические потери за время оптимальных переходных процессов составили $q_{опт}$=26,79.

При отсутствии статического момента на валу двигателя M_C=0 выражения для тока, скорости, оптимального времени и оптимального перемещения существенно упрощаются.

Из уравнения $$i = \mu c\, \nu \pm \sqrt{\mu_C^2 \nu^2 + C_1 \nu + C_2} \qquad (6)$$

следует, что при μ_C=0

$$i = \pm\sqrt{C_1 \nu + C_2} \qquad (7)$$

где

$$C_1 = -\frac{i_0^2}{\nu_M - \nu_0} \qquad (8)$$

$$C_2 = \frac{\nu_M i_0^2}{\nu_M - \nu_0} \qquad (9)$$

Подставив в $I_{нач} = \mu_C \nu + i_0$

C_1 из (8) и C_2 из (9) найдем

$$i = \pm i_0 \sqrt{\frac{\nu_M - \nu}{\nu_M - \nu_0}} \qquad (10)$$

Проинтегрировав $$d\tau = \frac{vdv}{\sqrt{\mu_C^2 \nu^2 + C_1 \nu + C_2}} \qquad (11)$$

при μ_C=0, получим

$$\tau = \frac{2(C_1\nu - 2C_2)}{3C_1^2}\sqrt{C_1\nu + C_2} + C_5 \qquad (12)$$

где C_5 определяется на основе исходных данных. При τ=0. $\nu=\nu_0$ из (12) получим

$$C_5 = \frac{2(\nu_M - \nu_0)(2\nu_M + \nu_0)}{3i_0} \qquad (13)$$

При $\tau = \tau_{опт}$, $\nu = \nu_M$ подставив эти значения в (10) получим

$\tau_{опт}=C_5$

или

$$\tau_{опт} = \frac{2(\nu_M - \nu_0)(2\nu_M + \nu_0)}{3i_0} \qquad (14)$$

Аналагично подставив в $\dfrac{d\varphi}{d\tau} = \nu$

$d\tau$ из (11) при μ_C=0, после интегрирования в пределах изменения скорости от ν_0 до ν_M получим

$$\varphi_{опт} = \frac{2(\nu_M - \nu_0)}{15i_0}(3\nu_0^2 + 4\nu_0\nu_M + 8\nu_M^2) \qquad (15)$$

Аналогичным образом после подстановки в $\dfrac{dq}{d\tau} = i^2$

I из (10) и $d\tau$ из (11) при μ_C=0 и интегрирования в пределах изменения скорости от ν_0 до ν_M и от ν_M до ν_0 найдем общие электрические потери за время оптимального переходного процесса

$$q_{опт} = \frac{4}{15}i_0(2\nu_M^2 + \nu_0\nu_M - 3\nu_0^2) \qquad (16)$$

Поделив (15) на (14) при известных значениях отрабатываемого перемещения $\varphi_{зад}$, заданного времени $\varphi_{зад}$ и начальной скорости ν_0, с учетом, что $\tau_{опт} = \frac{1}{2}\tau_{зад}$ и $\varphi_{опт} = \frac{1}{2}\varphi_{зад}$, получим

$$\frac{\varphi_{зад}}{\tau_{зад}} = \frac{8\nu_M^2 + 4\nu_0\nu_M + 3\nu_0^2}{5(2\nu_M + \nu_0)} \qquad (17)$$

После преобразования (17) будет иметь вид

$$8\tau_{зад}\nu_M^2 + 2(2\tau_{зад}\nu_0 - 5\varphi_{зад})\nu_M + (3\tau_{зад}\nu_0 - 5\varphi_{зад})\nu_0 = 0 \qquad (18)$$

Из (18) может быть определена максимальная скорость ν_M

$$\nu_{M(1,2)} = \frac{-(2\tau_{зад}\nu_0 - 5\varphi_{зад}) \pm \sqrt{(2\tau_{зад}\nu_0 - 5\varphi_{зад})^2 - 8(3\tau_{зад}\nu_0 - 5\varphi_{зад})\tau_{зад}\nu_0}}{8\tau_{зад}} \qquad (19)$$

где

$\nu_M = \max(\nu_{M(1)}, \nu_{M(2)})$

$$\nu_{M(1)} = \frac{-(2\tau_{зад}\nu_0 - 5\varphi_{зад}) + \sqrt{(2\tau_{зад}\nu_0 - 5\varphi_{зад})^2 - 8(3\tau_{зад}\nu_0 - 5\varphi_{зад})\tau_{зад}\nu_0}}{8\tau_{зад}} \qquad (20)$$

$$\nu_{M(2)} = \frac{-(2\tau_{зад}\nu_0 - 5\varphi_{зад}) - \sqrt{(2\tau_{зад}\nu_0 - 5\varphi_{зад})^2 - 8(3\tau_{зад}\nu_0 - 5\varphi_{зад})\tau_{зад}\nu_0}}{8\tau_{зад}} \qquad (21)$$

Если выражение под радикалом положительно из (20) и (21) видно, что $\nu_{(1)} > \nu_{M(2)}$. Тогда после преобразования найдем

$$\nu_M = \frac{5\varphi_{зад} - 2\tau_{зад}\nu_0 + \sqrt{(2\tau_{зад}\nu_0 - 5\varphi_{зад})^2 - 8(3\tau_{зад}\nu_0 - 5\varphi_{зад})\tau_{зад}\nu_0}}{8\tau_{зад}} \qquad (22)$$

Подставив ν_M из (22) в (13) можно определить начальное значение тока

$$i_0 = \frac{4(\nu_M - \nu_0)(2\nu_M + \nu_0)}{3\tau_{зад}}$$

Для того, чтобы рассчитать переходные процессы, необходимо при известном значении ν_0, а также при заданных $\varphi_{зад}$ и $\tau_{зад}$ определить ν_M из (22) и i_0 из (23). После этого рассчитываются коэффициенты C_1 и C_2 по (8) и (9) и строятся кривые $i(\tau)$ и $\nu(\tau)$ по уравнениям (7) и (12).

Оптимальные переходные процессы при $\mu_C=0$ могут быть также рассчитаны методом Рунге-Кутта. С этой целью заранее определяются i_0 и ν_M методом Ньютона из следующей системы уравнений:

$$\frac{4(\nu_M - \nu_0)(2\nu_M + \nu_0)}{3i_0} - \tau_{зад} = 0 \qquad (24)$$

$$\frac{4(\nu_M - \nu_0)(3\nu_0^2 + 4\nu_0\nu_M + 8\nu_M^2)}{15i_0} - \varphi_{зад} = 0 \qquad (25)$$

Литература:

1. Москаленко В.В. Электрический привод: уч. Пособие для студентов.- М: Академия, 2005.
2. Мазунин В.П. Проблемы оптимизации переходных процессов в электропривода. Екатеринбург: УрО РАН, 1995.
3. Терехов В.М. Система управления электроприводов. Учебник для студентов.-М: Академия, 2006.