

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

Э. М. ДИЛАНЯН, Г. К. АСТАБАТЦЯН

АЛГОРИТМ ДЛЯ РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ
СЕРИЕСНЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ

Электромобили с индивидуальным электроприводом задних колес должны обеспечивать хорошую управляемость и устойчивость движения при поворотах. Для этого требуется регулировать напряжение на каждом двигателе в зависимости от траектории и скорости движения. Чтобы определить законы оптимального регулирования напряжений двигателей внешнего и внутреннего колес и улучшить их тягово-энергетические показатели при повороте, необходимо знать все силы и реакции, действующие на колеса.

Из теории криволинейного движения автомобиля известно, что на устойчивость и управляемость электромобиля большое влияние оказывают изменения величин вертикальных реакций, действующих на колеса, а также величины коэффициентов увода колес [1, 2].

Поэтому для определения законов регулирования напряжений двигателей с учетом вышеуказанных факторов приходится решать большое количество уравнений со многими неизвестными [3].

Для решения этой задачи была разработана методика и составлен алгоритм расчета на ЦВМ. Сущность метода заключается в следующем: на основании пространственной одномассовой модели, характеризующей движение электромобиля на повороте с учетом заданного оптимального распределения касательных реакций по ведущим колесам, находят распределение тяговых моментов и скоростей по колесам при повороте, по которым определяют соответствующие тяговые моменты и скорости на валу двигателей, а затем, с учетом кривой намагничивания серийного двигателя устанавливается закон регулирования напряжений на двигателях в зависимости от линейной скорости и среднего угла поворота электромобиля.

Как известно [1, 2], при неравенстве касательных реакций ведущих колес возникают дополнительные моменты, оказывающие неблагоприятное воздействие на управляемость и устойчивость движения на повороте. При раздельном управлении двигателями внутреннего и внешнего колес может быть задано условие равенства касательных реакций на ведущих (внутреннего и внешнего) колесах, т. е.: $X_0^+ = X_0^-$.

Решение уравнений, определяющих движение пространственной одномассовой модели с задними ведущими колесами при круговом дви-

жения [2, 3], даст следующие соотношения для основных параметров поворота:

$$x = \frac{mV^2}{K_2} \left(\frac{a - fh}{L - fh} \right); \quad (1)$$

$$R = \frac{L}{\theta_1} + \frac{mV^2}{(L - fh)} \left(\frac{b}{K_1} + \frac{a}{K_2} \right); \quad (2)$$

$$Y_1 = K_1 \left(\theta_1 - \frac{L - x}{R} \right); \quad (3)$$

$$Y_2 = K_2 \left(\frac{x}{R} \right); \quad (4)$$

$$P_2 = f \frac{m}{g} + Y_1 \theta_1 - \frac{mV^2}{R^2} (b - x) + \omega V^2; \quad (5)$$

$$P'_2 = \frac{P_2 - 2Y_2 \frac{h}{B} f}{2}; \quad (6)$$

$$P'_1 = P_2 - P'_2; \quad (7)$$

$$X'_2 = P'_1 - fZ'_2; \quad (8)$$

$$Z'_2 = 0,5Z_2 - Y_2 \frac{h}{B}; \quad (9)$$

$$Z_2 = G \frac{a}{L} + \frac{P_2 r_d + \omega V^2 - \frac{mV^2}{R^2} (b - x)}{L}; \quad (10)$$

$$\omega_{\kappa 2}^* = \frac{\frac{V}{R} \sqrt{x^2 + \left(R - \frac{B}{2}\right)^2}}{r_0 \left(1 - \varepsilon \frac{X'_2}{Z'_2}\right)^2}; \quad (11)$$

$$\omega_{\kappa 2}^* = \frac{\frac{V}{R} \sqrt{x^2 + \left(R + \frac{B}{2}\right)^2}}{r_0 \left(1 - \varepsilon \frac{X'_2}{Z'_2}\right)^2}; \quad (12)$$

$$K_i = K_0 q_{xi} q_{zi}; \quad (13)$$

$$q_{xi} = \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{K_{xi}}{\varepsilon K_{zi}}\right)^2}}{1 + 0,35 \frac{R_{xi}}{\varphi^2 R_{zi}}}; \quad (14)$$

$$q_{zi} = \frac{1 - 0,6 \left(\frac{R_{z1} - R_{zm}}{R_{zm}} \right)^2 + 0,4 \left(\frac{R_{z1} - R_{zm}}{R_{zm}} \right)^3}{1 - 0,6 \left(\frac{R_{z0} - R_{zm}}{R_{zm}} \right)^2 + 0,4 \left(\frac{R_{z0} - R_{zm}}{R_{zm}} \right)^3} \quad (15)$$

где X, Z, Y — касательная, радиальная и боковая реакции, действующие на колесо; θ_1 — средний угол поворота; a, b — расстояния от центра тяжести автомобиля до его передней и задней осей; L, h, B — база, высота центра тяжести и среднее значение колеи; ω — коэффициент сопротивления воздуха; r_0, r_d — радиус качения колеса в свободном режиме и динамический радиус; ε — удельный коэффициент тангенциальной эластичности; ω_k — угловая скорость вращения колес; x — расстояние от задней оси до полюса поворота; R — радиус поворота; f, φ — коэффициенты сопротивления качению и сцеплению колеса; K_i — коэффициент увода середин осей ($i = 1, 2$); G, m — вес и масса автомобиля; q_x, q_z — коэффициенты коррекции по тангенциальной и радиальной реакциям; R_z, R_x — радиальные и касательные силы, действующие на колеса; K_0, R_m — начальные значения коэффициента увода и радиальной нагрузки; $R_{zm} = (1,2 - 1,8) R_{z0}$.

В формулах (1)–(15) индексы 1 и 2 относятся к передней и задней осям, соответственно, а штрих и два штриха — к внутреннему и внешнему колесам.

Напряжение серийного двигателя в относительных единицах определяется по известному выражению:

$$\dot{U} = \dot{\Phi} \dot{\omega} + \dot{R} \frac{\dot{M}}{\Phi} \quad (16)$$

где $\dot{U}, \dot{\Phi}, \dot{M}, \dot{\omega}, \dot{R}$ — напряжение, поток, электромагнитный момент, угловая скорость и суммарное сопротивление в относительных единицах.

За базисные приняты следующие величины:

$U_0 = U_n; I_0 = I_n; \Phi_0 = \Phi_n$ — номинальные значения напряжения, тока якоря и потока.

Момент на валу и угловая скорость двигателя определяются из следующих соотношений:

$$\dot{M}_2 = \frac{P_2 r_d}{M_0 i \gamma}; \quad \dot{M}_1 = \frac{P_1 r_d}{M_0 i \gamma}; \quad \dot{\omega}_2 = \frac{\omega_{k2} \cdot i}{\omega_0}; \quad \dot{\omega}_1 = \frac{\omega_{k1} \cdot i}{\omega_0},$$

где ω_0, M_0 — базовые значения угловой скорости и момента двигателя.

Для прямолинейного движения из (5) при $R = \infty, \theta_1 = 0$ следует, что

$$M_0 = \frac{P_2 r_d}{2i\gamma}, \quad \omega_0 = \frac{V \cdot i}{r_d}$$

где i, γ -- передаточное число и к. п. д. трансмиссии; P_{2u} -- тяговое усилие на ведущем колесе при прямолинейном движении с той же скоростью.

Закон регулирования напряжения двигателей определяется выражениями [3]:

$$\Delta \dot{U}_2^* = \frac{\dot{U}_2^* - \dot{U}_n}{\dot{U}_n} = \frac{\dot{\Phi}' \omega_2^* + R \frac{\dot{M}_2}{\dot{\Phi}'}}{\dot{\Phi}_n \frac{V \cdot i}{\omega_0 r_d} + R \frac{\dot{M}_n}{\dot{\Phi}_n}} - 1; \quad (17)$$

$$\Delta \dot{U}_2^* = \frac{\dot{U}_2^* - \dot{U}_n}{\dot{U}_n} = \frac{\dot{\Phi}'' \omega_2^* + R \frac{\dot{M}_2}{\dot{\Phi}''}}{\dot{\Phi}_n \frac{V \cdot i}{\omega_0 r_d} + R \frac{\dot{M}_n}{\dot{\Phi}_n}} - 1.$$

Алгоритм для расчета $\Delta \dot{U}_2^*$, \dot{U}_2^* с коррекцией углов увода K показан на рис. Первоначально задаются значениями K_{1c} , K_{2c} , V , θ_1 . В ходе расчета, после печати вычисленных величин, с помощью условных переходов производится уточнение K_1 и K_2 . Для рассчитанного момента двигателя \dot{M} каждый раз определяется величина потока $\dot{\Phi}$ по аппроксимированному выражению $\dot{\Phi} = \dot{M}$. Для каждого значения V угол θ_1 меняется от начального до θ_{1max} с шагом $\Delta \theta_1$, затем изменяется значение V с шагом ΔV до V_{max} . Приведенный алгоритм расчета позволяет определять тяговые моменты, скорости колес и изменение напряжений на двигателях с учетом распределения вертикальных нагрузок и коррекцией коэффициентов сопротивлений уводу по касательным и радиальным силам.

Результаты расчета для электромобиля с двумя ведущими колесами заднего моста, при значениях параметров: $\bar{G} = 2950$ кгс, $L = 2,7$ м, $a = 1,5$ м, $b = 1,2$ м, $B = 1,63$ м, $h = 0,7$ м, $l = 11$, $r_d = 0,33$, $\epsilon = 0,09$, $\omega = 0,18$ кгс·с²/м², $K_{10} = K_{20} = 6000$ кгс/рад, $P_n = 8$ кВт, $U_n = 90$ В, $I_n = 102$ А, $n_n = 5250$ об/мин, $M_n = 1,486$ кгс·м, $R = 0,1$ Ом приводится в таблице.

Как показывают расчеты при линейной скорости движения 10 м/с и угле поворота 0,05 рад разность изменений напряжения на двигателях внешнего и внутреннего колеса ведущей оси составляет около 40%. При таком регулировании напряжений дополнительный момент сопротивления не возникает, что обеспечивает оптимальные условия для надежного управления и устойчивости электромобиля при повороте.

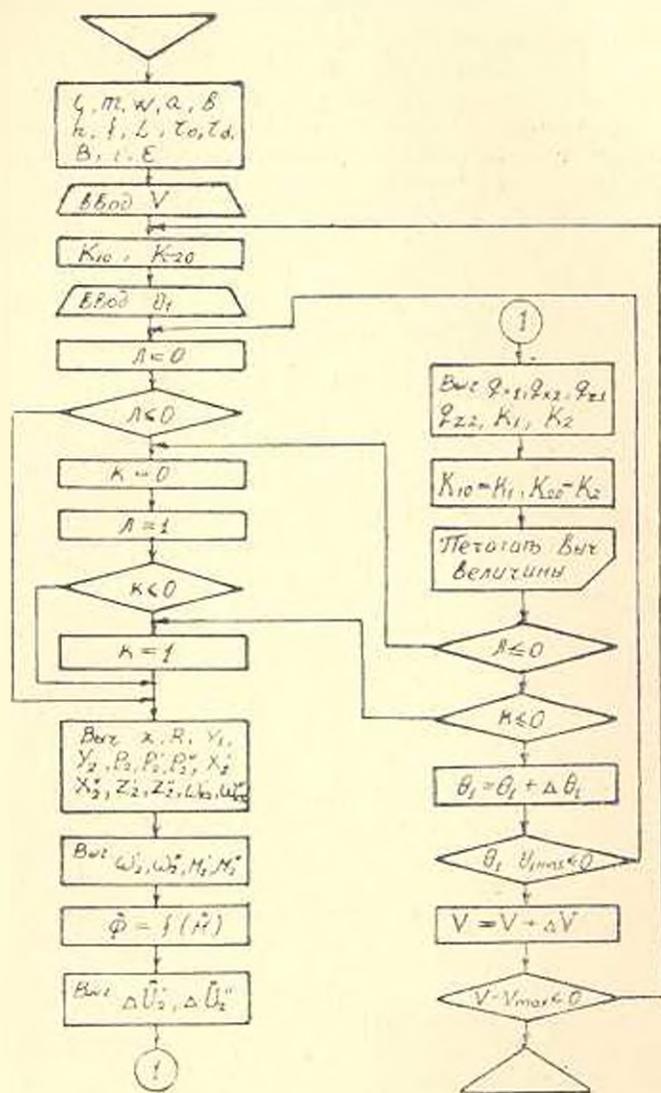


Рис.

Таблица

$V, \text{ м/с}$	2,5		5		7		10	
	ΔU_1^*	ΔU_2^*						
0,025	0,0	0,007	0,015	0,03	0,07	0,12	0,2	0,275
0,05	0,0	0,01	0,02	0,06	0,175	0,25	0,44	0,6
0,1	0,0	0,015	0,05	0,16	0,475	0,625	—	—
0,15	0,0	0,03	0,12	0,3	—	—	—	—
0,2	—	0,065	0,23	0,45	—	—	—	—
0,25	—	0,09	0,3	0,66	—	—	—	—

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Литашов А. С. Управление и устойчивость автомобиля М. «Машиностроение», 1971.
2. Фиробин И. Е. Теория поворота транспортных машин М., «Машиностроение», 1970.
3. Дилинги Э. М., Асабабли Э. М., Астабитцел Г. К. Метод определения законов управления электрическим приводом многодвигательного электроавтомобиля при повороте «Автомобильная промышленность», 1978, № 5.