ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

Տեխնիկական գիտություններ, հատոր XXX, № 3, 1977 Серия технических наук

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Э. М. ДИЛАНЯН, Э. М. АГАБАБЯН, Г. К. АСТАБАТЦЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАКОНОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ МНОГОДВИГАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ ПРИ ПОВОРОТЕ

При повороте колесных машин высокой проходимости с индивидуальным электроприводом каждого колеса появляется возможность улучшения статистических и динамических параметров поворотливости и управляемости [1], по сравнению с соответствующими параметрами дифференциального привода автомобилей, путем оптимального распределения тяговых усилий и скоростей между электродвигателями колес, в зависимости от скорости движения и угла поворота.

Для синтеза системы автоматического управления индивидуальными электроприводами электромобиля с четырьмя ведущими колесами, необходимо знать законы распределения скоростей и требуемых тяговых моментов на каждом колесе, удовлетворяющие условию обеспечения поворота машины с возможно меньшим радиусом поворота, при наименьшей затрате мощности двигателя и создании наиболее благоприятных контактных условий с грунтом [1]. В литературе приводится лишь анализ криволинейного движения с наперед заданными связями (например, дифференциальная связь колес).

В данной статье, на основании анализа кругового движения, определены законы распределения тяговых усилий и угловые скорости вращения колес. Из полученных закономерностей определены требуемые механические характеристики тягового электропривода и синтезирована схема автоматического управления индивидуальными тяговыми электроприводами.

Для определения сил и реакций, действующих на колеса электромобиля при круговом движении, рассмотрим линеаризованные уравнения, характеризующие движения одномассовой пространственной модели [2].

При круговом движении линейная скорость электромобиля (V) постоянная величина, и уравнения статики принимают следующий вид:

$$\sum X = 0; \quad X_1' + X_1'' + X_2' + X_2'' - P_w - Y_1\Theta_1 + P_{cX} = 0; \tag{1}$$

$$\sum Y = 0; \quad Y_1 + X_1\Theta_1 + Y_2 - P_{cY} = 0; \tag{2}$$

$$\sum Z = 0; \quad Z_1' + Z_1'' + Z_2' + Z_2'' - G = 0; \tag{3}$$

$$\sum M_{OZ} = 0; \quad Y_1 L + X_1\Theta_1 L + \frac{B}{2}(X_2' - X_2'') + \frac{B}{2}(X_1'' - X_1') = 0; \tag{4}$$

$$\sum M_{OY} = 0; \quad -Z_1 L + P_{cX} h_{u.t} + Gb - \sum M_w - P_w h_{w.t} = 0; \tag{5}$$

$$\sum M_{ox} = 0; \quad -(Z_1 + Z_2)\frac{B}{2} + (Z_1' + Z_2')\frac{B}{2} - P_{cy} h_{u.т} = 0, \qquad (6)$$

где X_1', X_1'', X_2', X_2'' — касательные реакции, действующие на колеса;

Z_1', Z_1'', Z_2', Z_2'' — нормальные реакции, действующие на колеса;

$X_1 = X_1' + X_2'$ — сумма касательных реакций, действующих на передние колеса;

$X_2 = X_2'' + X_2''$ — сумма касательных реакций, действующих на задние колеса;

Y_1 и Y_2 — сумма боковых реакций, действующих на передние и задние колеса;

Z_1 и Z_2 — сумма нормальных реакций, действующих на передние и задние колеса;

Θ_1 — средний угол поворота управляемых колес;

$\sum M_{kj}$ — сумма моментов сопротивления качению всех колес;

B и L — колея и база электромобиля (средние величины);

b — расстояние от задней оси до центра тяжести машины;

G — полный вес электромобиля;

$h_{u.т}$ — расстояние от опорной поверхности до центра тяжести машины;

P_w — сила сопротивления воздуха;

P_{cx}, P_{cy} — проекции центробежной силы на оси X и Y;

индексы 1 и 2 относятся, соответственно, к передней и задней осям, а индексы ′ и ″ — к внутренним и внешним (по отношению к центру поворота) колесам.

Как видно из уравнений (1) ÷ (6), задача определения реакций является статически неопределимой. Для получения недостающих уравнений использованы следующие зависимости:

— условия равенства касательных реакций:

$$X_1' = X_1''; \quad X_2' = X_2''; \quad X_1 = X_2; \qquad (7)$$

— выражения, связывающие боковые реакции, действующие на колеса каждой оси, и параметры, характеризующие углы увода этих осей:

$$Y_1 = K_{y1}\left(\Theta_1 - \frac{L - x}{R}\right); \qquad (8)$$

$$Y_2 = K_{y2}\left(\frac{x}{R}\right), \qquad (9)$$

где K_{y1} и K_{y2} — суммарные коэффициенты сопротивления уводу передних и задних колес, соответственно; x — расстояние от задней оси до полюса поворота; R — радиус поворота.

Учитывая известное из курса теории автомобиля выражение для касательных реакций ($X = P_т - fZ$) и условие равенства касательных реакций (7), получим выражения для определения распределения тяговых усилий между осями и колесами электромобиля:

$$P_{т1} = \frac{P_{т.\,полн} + f(Z_1 - Z_2)}{2}; \qquad P_{т2} = P_{т.\,полн} - P_{т1}; \tag{10}$$

$$P'_{т1} = \frac{P_{т1} + f(Z'_1 - Z'_1)}{2}; \qquad P''_{т1} = P_{т1} - P'_{т1}; \tag{11}$$

$$P'_{т2} = \frac{P_{т2} + f(Z'_2 - Z'_2)}{2}; \qquad P''_{т2} = P_{т2} - P'_{т2}, \tag{12}$$

где $P_{т.\,полн}$ — полное тяговое усилие, потребное при повороте электромобиля [определяется из решения уравнений статики совместно с условиями (7)];

$P'_{т1}$, $P''_{т1}$, $P'_{т2}$, $P''_{т2}$ — потребные тяговые усилия соответствующих колес;

f — коэффициент сопротивления качению колеса (средняя величина).

Угловые скорости вращения соответствующих колес ($\omega_к$) определяются из условия равенства линейных скоростей в контакте колеса с опорной поверхностью:

$$\omega'_{к1} = \frac{\omega R'_1}{r'_{к1}}; \qquad \omega'_{к2} = \frac{\omega R'_2}{r'_{к2}};$$

$$\omega''_{к1} = \frac{\omega R''_1}{r''_{к1}}; \qquad \omega''_{к2} = \frac{\omega R''_2}{r''_{к2}}. \tag{13}$$

где $r'_{к1}$, $r''_{к1}$, $r'_{к2}$, $r''_{к2}$ — радиусы качения соответствующих колес;

ω — угловая скорость поворота электромобиля;

R'_1, R''_1, R'_2, R''_2 — расстояния от мгновенного центра поворота до точки соприкосновения соответствующего колеса с опорной поверхностью.

Радиусы качения колес можно определить по выражению [2, 3]

$$r_к = r_{к0}\left(1 - \varepsilon_x \frac{X}{Z}\right), \tag{14}$$

где $r_{к0}$ — радиус качения колеса в свободном режиме ($X = 0$);

ε_x — удельный коэффициент тангенциальной эластичности шины.

Задаваясь значениями угла поворота Θ_1 при постоянной величине скорости движения V, по вышеприведенным уравнениям определяются потребные тяговые усилия и угловые скорости соответствующих колес.

Зная закон распределения тяговых моментов, а также угловые скорости колес, можно определить законы регулирования напряжениями индивидуальных электроприводов многодвигательного электромобиля при круговом движении в зависимости от угла Θ_1 и скорости V.

Ниже приводится пример определения законов управления напряжениями асинхронных электродвигателей электромобиля с четырьмя ведущими колесами и передней управляемой осью.

Для асинхронного двигателя, работающего в режиме постоянства абсолютного скольжения, основным управляющим параметром является напряжение на двигателе. Воспользуемся уравнением для фазового напряжения асинхронного двигателя, работающего в режиме постоянства абсолютного скольжения, в относительных единицах [4]:

$$U_1 = \sqrt{M}\,\frac{\omega_д + (K_{э1} + \beta)}{K_{э2}}, \qquad (15)$$

где U_1, M, $\omega_д$ — соответственно фазовое напряжение, электромагнитный момент и угловая скорость вращения ротора асинхронного двигателя (АД);

$\frac{f_2}{f_{1н}} = \beta$ — абсолютное скольжение АД;

f_2 — частота тока ротора;

$f_{1н}$ — частота тока статора (номинальная величина).

Коэффициенты $K_{э1}$ и $K_{э2}$ определяются по выражениям:

$$K_{э1} = \frac{r_1 r_2'^2}{\beta\left[\left(\frac{r_2'}{\beta}\right)^2 + (X_1 + X_1'/\sigma_1)^2\right]}; \qquad K_{э2} = \sqrt{\frac{K_{э1}}{\sigma_1^2 r_1}};$$

где r_1, r_2', X_1, X_2', σ_1 — параметры АД, определяемые при номинальной частоте тока статора.

Зная передаточное отношение от электродвигателя к колесу (i), можно определить скорость вращения ротора двигателя соответствующего колеса в относительных единицах:

$$\omega_д = i\,\frac{\omega_к}{\omega_{ан}},$$

где $\omega_{ан}$ — номинальная синхронная угловая скорость вращения поля статора.

Изменение напряжений ΔU на двигателях передней оси относительно напряжения, требуемого при прямолинейном движении электромобиля с той же скоростью, определяем по выражениям:

$$\frac{\Delta U_1'}{U_{пр}} = \frac{U_{пр} - U_1'}{U_{пр}} = 1 - \frac{\omega_{д1}' + (K_{э1} + \beta)}{\omega_{д.пр} + (K_{э1} + \beta)}\sqrt{\frac{M_1'}{M_{пр.к}}}; \qquad (16)$$

$$\frac{\Delta U_1'}{U_{пр}} = \frac{U_{пр} - U_1'}{U_{пр}} = 1 - \frac{\omega_{з1}' + (K_{з1} + \beta)}{\omega_{з.пр} + (K_{з1} + \beta)} \sqrt{\frac{M_1'}{M_{пр.к}}}, \qquad (17)$$

где $M_{пр.к}$ — тяговый момент на одном колесе, необходимый при прямолинейном движении;

M_1', M_2' — тяговые моменты соответствующих колес при круговом движении;

$$\frac{M_1'}{M_{пр.к}} = \frac{P_{т1}/r_{з.к}}{P_{т.пр}/4r_{з.к}} = \frac{4P_{т1}'}{P_{т.пр}}; \qquad \frac{M_1'}{M_{пр.к}} = \frac{4P_{т1}'}{P_{т.пр}};$$

$P_{т.пр}$ — тяговое усилие, требующееся при прямолинейном движении.

Таким же образом можно найти изменение напряжений и для колес задней оси.

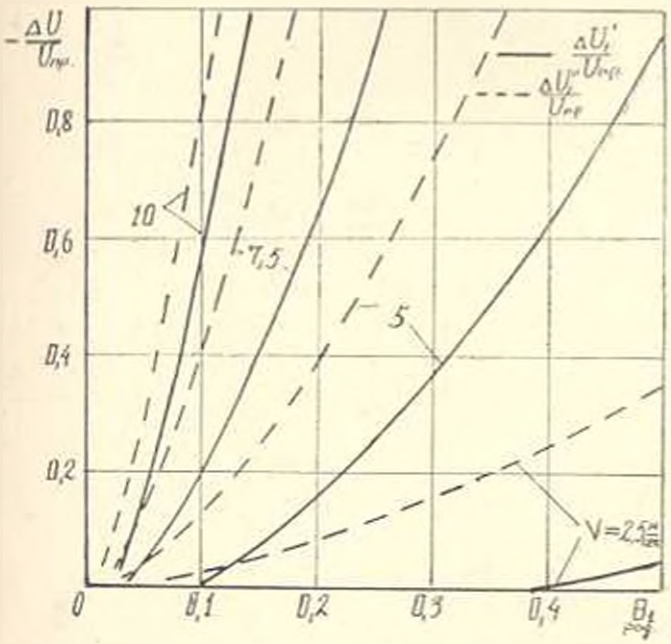

Рис. 1. Кривые изменения напряжений на двигателях колес относительно напряжения двигателя, потребного при прямолинейном движении, в зависимости от угла поворота (θ_1) и скорости движения (V).

Количественный анализ выражений (16) и (17) в зависимости от угла поворота и скорости движения проводился для электромобиля с параметрами:

$G = 3300$ *кГ*; $L = 2{,}7$ *м*; $a = b = 0{,}5\,L$; $B = 1{,}5$ *м*; $L_{п.т} = 0{,}8$ *м*;

$\varepsilon_т = 0{,}09$; $kF = 0{,}618$ *кГ·сек/м*; $i = 4$; $K_{Y1} = K_{Y2} = 6000$ *кГ/рад*.

На рис. 1 приведены расчетные характеристики.

Анализ этих характеристик для машин данного габарита показал, что в первом приближении возможно приводы каждого борта осуществить от одного преобразователя частоты.

После аппроксимации характеристик, приведенных на рис. 1, получаем выражение для ΔU, которое позволяет реализовать регулятор по Θ_1 и V:

$$\frac{\Delta U'_1}{U_{пр}} = 3\Theta_1^2 - 5\Theta_1 + 0{,}064V^2 - 0{,}73V + 1{,}5\Theta_1 V + 1{,}8. \qquad (18)$$

На рис. 2 приведена структурная схема управления тяговыми электродвигателями передней оси электромобиля, работающими в режиме постоянства абсолютного скольжения.

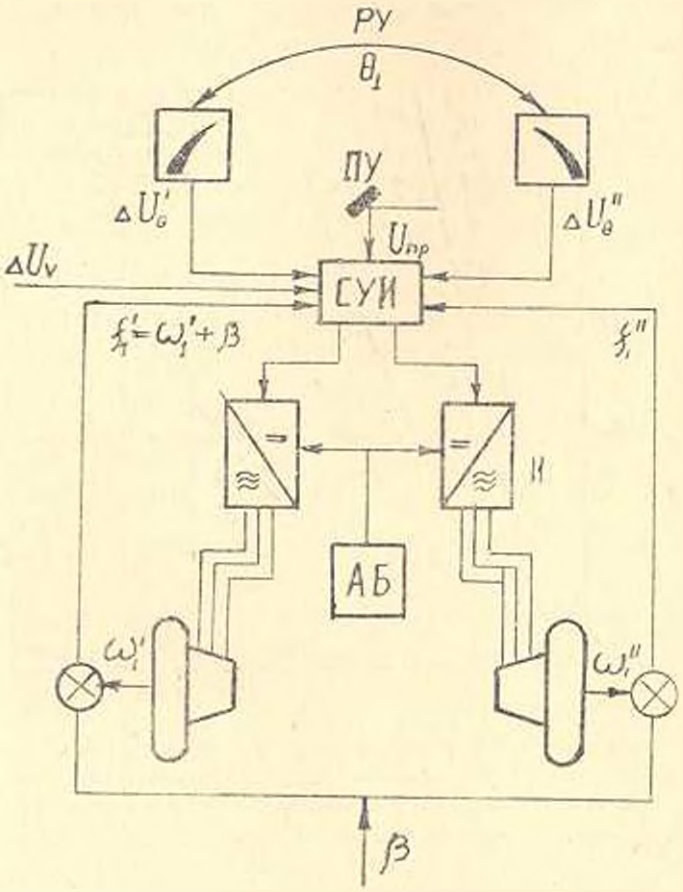

Рис. 2. Структурная схема управления электродвигателями передней оси при повороте: ПУ — педаль ускорения РУ — рулевое управление; И — инвертор; СУИ — система управления инвертором; АБ — аккумуляторная батарея. ($\Delta U'_V$, $\Delta U''_\theta$ — изменение напряжений двигателей от скорости движения и угла поворота; β — абсолютное скольжение асинхронных двигателей; f_1 — частота тока статора; f_2 — частота тока ротора).

Как показали исследования, для обеспечения заданных параметров движения при повороте электромобиля с индивидуальным электроприводом переменного тока при β = const необходимо ввести регулятор, распределяющий напряжения между двигателями колес в зависимости от величины угла поворота и скорости движения.

ЕрПИ им. К. Маркса Поступило 5.1.1977.

Է. Մ. ԴԻՎԱՆՅԱՆ, Է. Ի. ԱՂԱԲԱԲՅԱՆ, Գ. Կ. ԱՍՏԱԲԱՏՅԱՆ

ՊՏՈՒՅՏԻ ԺԱՄԱՆԱԿ ԲԱԶՄԱՇԱՐԺԻՉԱՅԻՆ ԷԼԵԿՏՐՈՄՈԲԻԼԻ ԷԼԵԿՏՐԱՇԱՐԺԻՉՆԵՐԻ ԼԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ԿԱՐԳԱՎՈՐՄԱՆ ՕՐԵՆՔՆԵՐԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ

Ա մ փ ո փ ո ւ մ

Հոդվածում դիտված են էլեկտրոմոբիլի բազմաշարժիչային էլեկտրաթանեցման ղեկավարման օրենքները որոշող հարցեր, որոնք հիմնված են շրջանային շարժման ժամանակ էլեկտրոմոբիլի վրա ազդող ուժերը և անվադողերի հակազդումները դանելու հիման վրա։ Բացարձակ սահքի ռեժիմում աշխատող բարշային ասինխրոն շարժիչի լարման փոփոխությունների որոշման համար ստացված են արտահայտություններ, կախված ղեկի պտտման անկյունից և էլեկտրոմոբիլի արագություններից։ Մոտարկումից հետո լարման փոփոխության արտահայտություններից ստացված է հավասարում, որի հիման վրա իրականացվում է լարման կարգավորիչը։

Բերված է էլեկտրոմոբիլի բազմաշարժիչային էլեկտրաթանեցման կառուցվածքային սխեման։

ЛИТЕРАТУРА

1. *Фаробин Я. Е.* Теория поворота транспортных машин, М, 1970.
2. *Литвинов А. С.* Управляемость и устойчивость автомобиля. М. 1971.
3. *Чудаков Е. А.* Избранные труды, т. I, М., 1961.
4. *Диланян Э. М., Агабабян Э. М., Астрабатцян Г. К.* Управление электроприводом электромобиля. Сб. научн. трудов ЕрПИ, вып. 13, 1974.