

Краткие сообщения

УДК 621.3.011

О РАСШИРЕНИИ ПРИЛОЖЕНИЙ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ ДИНАМИКИ К ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ЦЕПЯМ

В.С. Ляпидов

Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

E-mail: constantin.1988@mail.ru

На основе общности математических моделей процессов в электрических и неэлектрических инерционных элементах рассмотрена принципиальная возможность расширения приложений релятивистской динамики к электрическим цепям. Рассмотрена техническая возможность приближенного выполнения соотношений по определению предельных значений тока через катушку индуктивности и напряжения на конденсаторе с помощью конверторов отрицательной индуктивности и емкости.

Ключевые слова: инерционный элемент, компенсация параметра инерционного элемента, конвертор отрицательного импеданса.

Фундаментальная общность процессов в электрических и неэлектрических инерционных элементах легко прослеживается, если обратиться, например, к соответствующим формулам для энергий. Так, энергия E_1 электрического поля конденсатора C , энергия E_2 магнитного поля катушки индуктивности L , кинетическая энергия E_3 движущегося тела массой m имеют вид

$$E_1 = 0.5Cu^2; E_2 = 0.5Li^2; E_3 = 0.5mv^2. \quad (1)$$

При этом емкость C конденсатора (к пластинам которого приложено напряжение u) связана с инерционностью при попытке скачком изменить напряжение (второй закон коммутации). Индуктивность L катушки индуктивности (через которую протекает ток i) связана с инерционностью при попытке скачком изменить ток через катушку (первый закон коммутации). Аналогично масса m (движущегося со скоростью v тела) связана с инерционностью при попытке скачком изменить скорость тела (первый закон Ньютона) [1].

Таким образом, в основе формул (1) лежит одна и та же математическая модель, которую можно представить в виде

$$E = ABD^2; \forall B \in \{C, L, m\}; \forall D \in \{u, i, v\},$$

где E – энергия;

A – числовой коэффициент;

Валерий Сергеевич Ляпидов (к.т.н., доц.), доцент кафедры «Автоматика и управление в технических системах».

B – величина, характеризующая инерционность, возникающая при попытке скачком изменить величину D .

Этой же модели подчиняется и энергия E_4 в известной формуле теории относительности Эйнштейна:

$$E_4 = AmC_*^2, \quad (2)$$

где C_* – скорость света в вакууме.

Как известно из теории относительности, скорость света в вакууме C_* – это предельная, максимально возможная скорость передачи взаимодействий в природе. Проводя аналогию между формулой (2) и формулами (1), можно предположить, например, что напряжение на конденсаторе u и ток через катушку индуктивности i также имеют свои предельные значения u_* и i_* . Тогда положения релятивистской динамики могут быть распространены и на электрические цепи.

Общность математических моделей процессов, протекающих в инерционных элементах C, L, m , целесообразно представить в виде таблицы (табл. 1), где m_0 – масса покоящегося тела при $v=0$; C_0 – емкость конденсатора при $u=0$; L_0 – индуктивность катушки индуктивности при $i=0$.

Таблица 1

Общность математических моделей

Инерционные элементы		
C	L	m
Второй закон коммутации [2]. C – мера инертности напряжения на конденсаторе	Первый закон коммутации [2]. L – мера инертности тока через катушку индуктивности	Первый закон Ньютона [1]. m – мера инертности тела, движущего со скоростью v
Ток через емкость равен скорости изменения заряда q : $i(t) = C \frac{du}{dt} = \frac{dq}{dt}$	Напряжение на катушке индуктивности равно скорости изменения потокосцепления Ψ : $u(t) = L \frac{di}{dt} = \frac{d\Psi}{dt}$	Сила равна скорости изменения количества движения k (второй закон Ньютона): $F(t) = m \frac{dv}{dt} = \frac{dk}{dt}$
Зависимость емкости конденсатора от напряжения: $C = \frac{C_0}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{u_*^2}}}. \quad (3)$	Зависимость индуктивности катушки от тока: $L = \frac{L_0}{\sqrt{1 - \frac{i^2}{i_*^2}}}. \quad (4)$	Зависимость массы от скорости: $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{C_*^2}}}. \quad (5)$
Энергия конденсатора: $E_1 = 0.5Cu_*^2 = 0.5 \frac{C_0 u_*^2}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{u_*^2}}} \quad (6)$	Энергия катушки индуктивности: $E_2 = 0.5Li_*^2 = 0.5 \frac{L_0 i_*^2}{\sqrt{1 - \frac{i^2}{i_*^2}}} \quad (7)$	Энергия движущегося тела по формуле Эйнштейна (2): $E_4 = AmC_*^2 = A \frac{m_0 C_*^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{C_*^2}}} \quad (8)$

При изменении энергии на ΔE_1 емкость изменится на ΔC : $\Delta C = \frac{\Delta E_1}{0.5u_*^2} \quad (9)$	При изменении энергии на ΔE_2 индуктивность изменится на ΔL : $\Delta L = \frac{\Delta E_2}{0.5i_*^2} \quad (10)$	При изменении энергии на ΔE_4 масса изменится на Δm : $\Delta m = \frac{\Delta E_4}{AC_*^2} \quad (11)$
Максимально возможная величина напряжения на конденсаторе возможна, если $C \rightarrow 0$: $u_{\max} = \frac{q}{C} \Big _{\text{при } C \rightarrow 0} = u_* \quad (12)$	Максимально возможный ток через катушку индуктивности возможен, если $L \rightarrow 0$: $i_{\max} = \frac{\Psi}{L} \Big _{\text{при } L \rightarrow 0} = i_* \quad (13)$	Максимально возможная скорость тела возможна, если $m \rightarrow 0$: $v_{\max} = \frac{k}{m} \Big _{\text{при } m \rightarrow 0} = C_* \quad (14)$

В представленной таблице формулы (3) и (4) записаны по аналогии с известной из курса релятивистской динамики [1] формулой связи между массой и энергией (5). Аналогично формулы (6), (7) и (9), (10) записаны по аналогии с известными формулами (8) и (11) соответственно.

Если минимизация массы ($m \rightarrow 0$) и приближение к скорости C_* (согласно (14)) настоящее время пока затруднительно, то минимизация емкости ($C \rightarrow 0$) и индуктивности ($L \rightarrow 0$), а значит, и приближенное выполнение соотношений (12) и (13) технически возможно уже сегодня с помощью конверторов отрицательного импеданса (Negativ Impedanz Converter) и, в частности, конверторов отрицательной емкости и индуктивности. Указанные устройства представляют собой активные цепи имитации отрицательного импеданса, имеющие зависимость между входным импедансом $Z(j\omega)$ и импедансом нагрузки $Z_n(j\omega)$ вида [3, 4]:

$$Z(j\omega) = -k^* Z_n(j\omega),$$

где k^* – положительный безразмерный коэффициент.

Конверторы отрицательного импеданса (NIC) удобно рассматривать как идеальные активные четырехполюсники, причем последние классифицируют в соответствии со свойствами, которые имеет их матрица обобщенных параметров цепи [5]:

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}.$$

Активные четырехполюсники являются проходными четырехполюсниками, и рассматриваются только те, для которых A, B, C, D – вещественные постоянные величины. Для конверторов отрицательного импеданса $AD < 0$; $B = C = 0$ [5]. Для NIC по току $A > 0$; $D < 0$. Для NIC по напряжению $A < 0$; $D > 0$. Иногда понятия NIC (по току или по напряжению) сужают, ограничивая их случаем $A = I$ или $D = I$.

С позиции теории четырехполюсников конвертор отрицательного импеданса (NIC) (см. рисунок) полностью характеризуется коэффициентами уравнений, описывающих его поведение:

$$\begin{cases} U_1(j\omega) = a_{11}U_2(j\omega) + a_{12}I_2(j\omega); \\ I_1(j\omega) = a_{21}U_2(j\omega) + a_{22}I_2(j\omega). \end{cases}$$



Конвертор отрицательного импеданса в виде идеального четырехполюсника.

Таблица 2

Матрица параметров и коэффициенты передачи конвертора

Матрица параметров конвертора	Коэффициент передачи по току (слева направо)	Коэффициент передачи по напряжению (слева направо)
$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$	-1	1
$\begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$	1	-1

Полная компенсация импеданса емкости или индуктивности с помощью *NIC* недостижима из-за неизбежно возникающих проблем с устойчивостью работы схемы конвертора [3], поэтому при использовании схем имитации отрицательных импедансов можно говорить не о полной, а лишь о частичной (приближенной) компенсации величины емкости (индуктивности) с помощью *NIC*, т. е. здесь более уместен термин «конвергенция» (лат. *convergo* – приближение, схождение) [6]. Конвергенция (приближение) отрицательного импеданса конвертора к компенсируемой емкости (индуктивности) зависит от требований к запасу устойчивости проектируемой схемы конвертора.

Таким образом, на основе фундаментальной общности электрических и неэлектрических процессов рассмотрена принципиальная возможность расширения приложений релятивистской динамики к электрическим цепям (см. (3), (4), (6), (7), (9), (10)). Рассмотрена техническая возможность приближенного выполнения соотношений (12) и (13) по определению предельных значений тока через катушку индуктивности и напряжения на конденсаторе с помощью конверторов отрицательной индуктивности и емкости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. – М.: Наука, 1996. – 624 с.
2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. – М.: Высш. школа, 1973. – 752 с.
3. Бенинг Ф. Отрицательные сопротивления в электронных схемах. – М.: Сов. радио, 1975. – 288 с.
4. Филановский И.М., Персианов А.Ю., Рыбин В.К. Схемы с преобразователями сопротивления. – Л.: Энергия, 1978. – 192 с.
5. Хейнлейн В.Е., Холмс В.Х. Активные фильтры для интегральных схем. – М.: Связь, 1980. – 656 с.
6. Ляпидов В.С. Принцип конвергенции при построении высокочувствительных втогенераторных схем // Математическое моделирование и краевые задачи: Тр. VIII Всеросс. науч. конф. с междунар. участием. – Самара: СамГТУ, 2011. – С. 184-186.

Статья поступила в редакцию 18 марта 2015 г.

ABOUT EXPANSION ADDENDAMS RELATIVISTIC DYNEMICS TO ELECTRIC CIRCUITE.

V.S. Lyapidov

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

On the basis of community of mathematical model processors in electrical and non-electrical slow-response elements the possibility of principle expansion addendums of relativistic dynamics to electric circuit is considered. Technical capability of approximate realization of correlations by convention limit current value by means of inductor and voltage on the condenser by the use of negative-inductor and negative- condenser converter is shown.

Keywords: *inertia member, compensation setting of inertia member, negative-impedance converter.*