УДК 621.372

ВЗАИМОСВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКОВ И ОБОБЩЕННЫХ РЕКУРРЕНТНЫХ ЧИСЕЛ

Н. Ф. СЕМЕНЮТА

Белорусский государственный университет транспорта

Основными параметрами четырехполюсников являются характеристические сопротивления Z и постоянная передачи g, которые обычно определяются через входные сопротивления в режимах короткого замыкания и холостого хода:

$$Z = \sqrt{Z_{xx} Z_{кз}}, \quad \text{th} g = \sqrt{Z_{xx} / Z_{кз}}.$$

Определение Z_{xx} и $Z_{кз}$ возможно значительно упростить, используя рекуррентные числа Фибоначчи F и Люка L, а также установленные автором числа FS_n и LS_n:

$$FS_n(1) = 5F_n, \quad LS_n(1) = 5L_n,$$

$$FS_n(2) = 5FS_n(1) = 25F_n, \quad LS_n(2) = 5LS_n(1) = 25L_n.$$

....

На рисунке 1 приведена однородная электрическая цепь, состоящая из трех ($n = 3$) простейших четырехполюсников и $R_1 = R_2 = 1$ Ом. Токи (напряжения) в ветвях цепи определяются отношениями чисел Фибоначчи (таблица 1) (при условии $U_н = 1$ В). При $n \to \infty$ входное и характеристическое сопротивления разомкнутой и замкнутой на конце цепи стремятся к $F_n/F_{n-1} \to \Phi$, где Φ – золотое сечение, $\Phi = 1{,}618\ldots$.

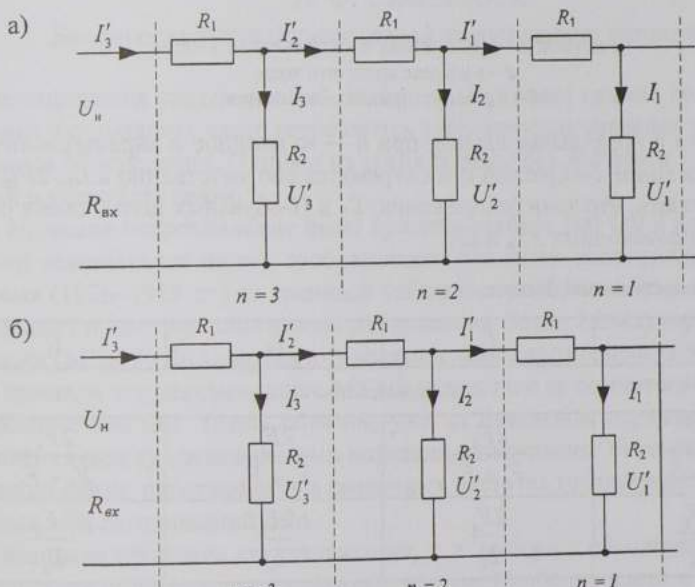

Рисунок 1 – Простейшая лестничная электрическая цепь:
а – в режиме холостого хода;
б – в режиме короткого замыкания

Таблица 1 – **Токи простейшей однородной лестничной цепи**

I'_3	I_3	I'_2	I_2	I'_1	I_1
		Холостой ход			
$\frac{F_6}{F_7}$	$\frac{F_5}{F_7}$	$\frac{F_4}{F_7}$	$\frac{F_3}{F_7}$	$\frac{F_2}{F_7}$	$\frac{F_1}{F_7}$
		Короткое замыкание			
$\frac{F_5}{F_6}$	$\frac{F_4}{F_6}$	$\frac{F_3}{F_6}$	$\frac{F_2}{F_6}$	$\frac{F_1}{F_6}$	–

Рассмотрим однородную электрическую цепь, с T-образной структурой четырехполюсников (рисунок 2), когда сопротивления $R_1 = 1/2$ и $R_2 = 1$ Ом. В этом случае токи (напряжения) в режимах холостого хода и короткого замыкания соответствуют как отношениям чисел Фибоначчи, Люка и их производным (таблица 2).

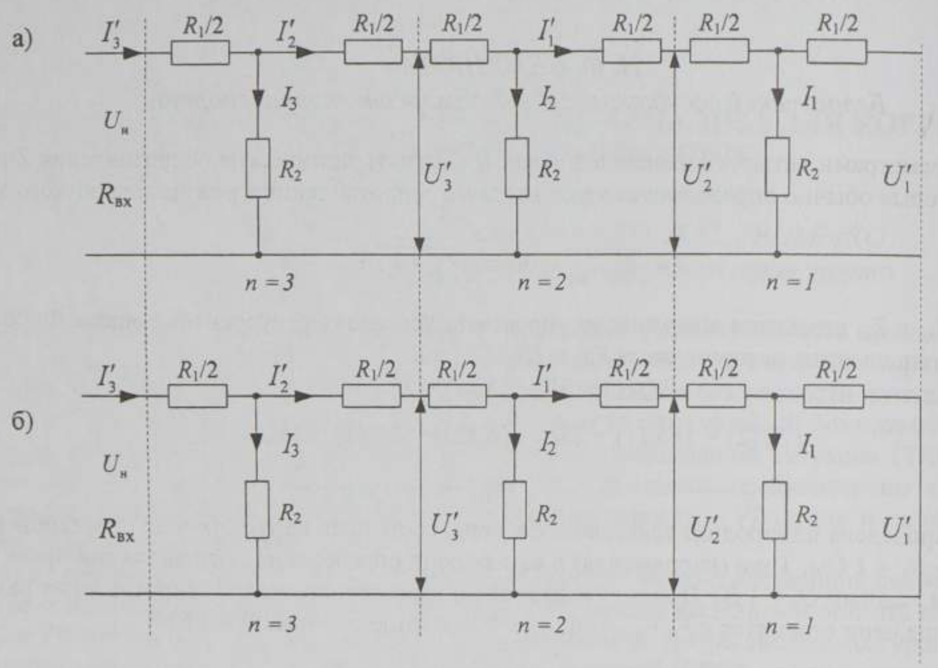

Рисунок 2 – Лестничная электрическая T-цепь:
а – в режиме холостого хода;
б – в режиме короткого замыкания

Из таблиц 2 следует, что в предельном случае, при $n \to \infty$ входное и характеристическое сопротивления разомкнутой и замкнутой на конце T-образной цепи стремятся соответственно к $L_{2n}/2F_{2n}$ и $FS_{2n}(1)/2\,L_{2n}$.

Аналогично можно показать, что токи (напряжения) Г- и П-образных цепей также равны отношениям чисел Фибоначчи, Люка и их производных FS_n и LS_n .

Таблица 2 – **Токи однородной лестничной Т-цепи**

I'_3	I_3	I'_2	I_2	I'_1	I_1
		Холостой ход			
$\frac{2F_6}{F_5+F_7}$	$\frac{2F_5}{F_5+F_7}$	$\frac{2F_4}{F_5+F_7}$	$\frac{2F_3}{F_5+F_7}$	$\frac{2F_2}{F_5+F_7}$	$\frac{2F_1}{F_5+F_7}$
$\frac{2F_6}{L_6}$	$\frac{2F_5}{L_6}$	$\frac{2F_4}{L_6}$	$\frac{2F_3}{L_6}$	$\frac{2F_2}{L_6}$	$\frac{2F_1}{L_6}$
		Короткое замыкание			
$\frac{2(F_5+F_7)}{5F_6}$	$\frac{2(F_4+F_6)}{5F_6}$	$\frac{2(F_3+F_5)}{5F_6}$	$\frac{2(F_2+F_4)}{5F_6}$	$\frac{2(F_1+F_3)}{5F_6}$	$\frac{2(F_0+F_2)}{5F_6}$
$\frac{2L_6}{5F_6}$	$\frac{2L_5}{5F_6}$	$\frac{2L_4}{5F_6}$	$\frac{2L_3}{5F_6}$	$\frac{2L_2}{5F_6}$	$\frac{2L_1}{5F_6}$
$\frac{2L_6}{FS_6(1)}$	$\frac{2L_5}{FS_6(1)}$	$\frac{2L_4}{FS_6(1)}$	$\frac{2L_3}{FS_6(1)}$	$\frac{2L_2}{FS_6(1)}$	$\frac{2L_1}{FS_6(1)}$

Коэффициент передачи (коэффициент затухания) в логарифмических единицах на основе числа $e = 2{,}718 = \Phi^2 + 0{,}1 = \Phi^2 \cdot 1{,}0382$ принято определять натуральным логарифмом отношений токов (напряжений) на единицу длины цепи (в нашем случае на четырехполюсник):

$$\alpha = \ln(I_{i+1}/I_i) = \ln(F_{2i+2}/F_{2i}) = \ln \Phi^2 = 0{,}96 \text{ Непер}.$$

В ряде последних работ по некоторым направлениям науки и технике, в том числе и теории электрических цепей, было поставлено под сомнение применение числа e как фундаментальной постоянной. Это связано с тем, что расчеты, базирующиеся на числе $e = 2{,}718$, имеют в некоторых случаях большие погрешности по сравнению с расчетами, базирующимися на золотом сечении. Возникла проблема перехода от натуральных логарифмов $\ln e = \ln(\Phi^2 \cdot 1{,}0382) = 0{,}9624 + 0{,}0375$ к логарифмам на основе золотого сечения $\Phi^2 = 2{,}618$.

Коэффициент затухания в логарифмических единицах (lф) на основе золотого сечения Φ^2

$$\alpha = \text{lф}(I_{n+1}/I_n) = \text{lф}(F_{2n+2}/F_{2n}) = \text{lф}\Phi^2 = 1{,}0 \text{ Фидий}.$$

Каждая ячейка электрической цепи (см. рисунки 1 и 2) при $n \to \infty$ имеет затухание, равное 1 Фидию ($\text{lф}\Phi^2 = 1$), т. е. цепь, состоящая из n элементов, имеет затухание n Фидий.

Из сравнения логарифмических единиц на основе числа e и Φ^2 можно установить, что между ними имеется незначительное отличие: $e = 2{,}718 = \Phi^2 + 0{,}1 = \Phi^2 \cdot 1{,}0382$ и $e^{0{,}9624} = \Phi^2 = 2{,}618$, но обнаружить это незначительное отличие не всегда удается. Пока же ясно, что основание логарифмов Φ^2 более точно отражает изменения силы тока (напряжения) вдоль однородной электрической цепи. Но в целом проблема Непер или Фидий требует дальнейшего исследования в теории электрических цепей.

УДК 621.372

СТАНДАРТИЗАЦИЯ ВОЛНОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЦЕПЕЙ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ «ЗОЛОТОЙ ПРОПОРЦИИ»

Н. Ф. СЕМЕНЮТА
Белорусский государственный университет транспорта

В процессе проектирования систем и сетей электрической связи важная роль отводится стандартизации их параметров. Однако в стандартах часто встречаются субъективные значения параметров и коэффициентов, не имеющие серьезного обоснования. Одними из таких параметров являются волновые (входные/выходные) сопротивление цепей и устройств связи.

Первоначально волновое сопротивление было принято равным 800 Ом с допуском в пределах от 600 до 950 Ом. Такой выбор основывался на тех соображениях, что такие сопротивления имели наиболее распространенные в то время (1926–1929 гг.) за границей кабельные цепи, использовавшиеся только для низкочастотного телефонирования и подтонального телеграфирования. Затем Международным Консультативным Комитетом по Телефонии (МККФ) было принято в качестве основного сопротивление 600 Ом. Однако некоторые государства не приняли эту рекомендацию МККФ вследствие ее сомнительности и применяли в качестве основного сопротивление 800 Ом. Таким образом, уже на начальном периоде установления номинального волнового сопротивления между специалистами возникли разногласия. Усугублялась эта проблема и по мере появления новых линий связи, работающих на различных частотах (радиочастотные и коаксиальные кабели). Остается эта проблема и на сегодняшний день.

В связи с этим возникла проблема стандартизации, т. е. выбора и обоснования системы волновых сопротивлений, подчиняющихся определенным закономерностям. Наиболее часто в стандартизации для установления единства конструкторских и технических параметров устройств и сооружений используют ряды предпочтительных чисел в основу которых положены геометрические прогрессии. Анализ основных принципов формирования действующих систем предпочтительных чисел (СПЧ) позволил установить их тяготение к геометрической прогрессии на основе «золотой» пропорции $\Phi = 1{,}618$ и $1/\Phi = 0{,}618$. Поэтому для составления СПЧ волновых сопротивлений цепей связи также предлагается использовать гармоническую геометрическую прогрессию со знаменателем

$$\left(\sqrt{\frac{1}{\Phi}}\right)^n = \left(\sqrt{\overline{\Phi}}\right)^n.$$

Значения волновых сопротивлений, отвечающих гармонизированному ряду СПЧ, незначительно отличаются от субъективно установленных (таблица 1), но их применение позволяет значительно упростить нормирование и расчеты уровней сигналов и затуханий в неоднородных и составных цепях с различными волновыми сопротивлениями.