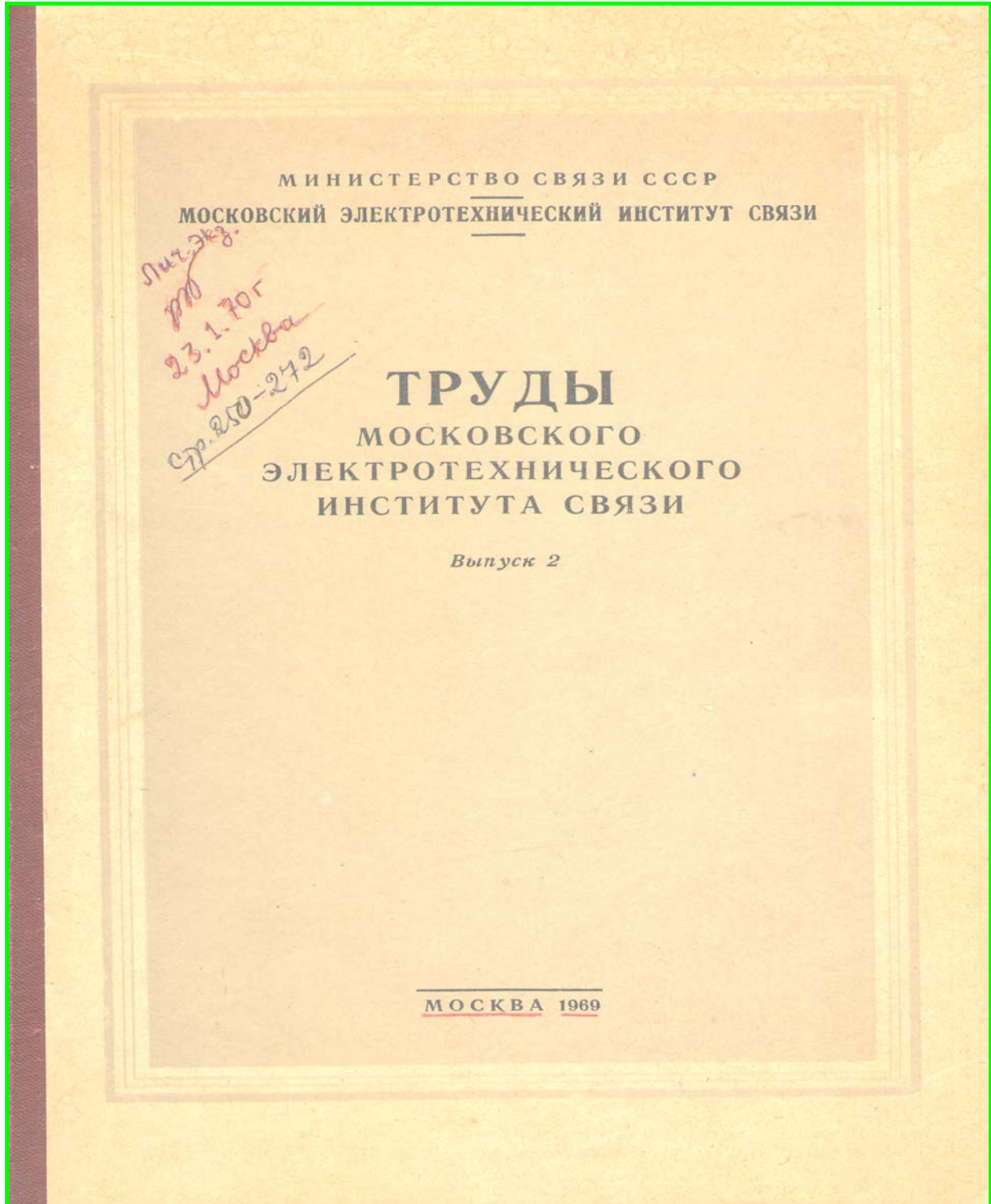


Исследование электрической R//C-схемы с двумя ключами. Ч.1 /

Repin A.M. Research of electric R//C-circuit with two keys. RC.10, 10эл

Анонс. На основе научных отчётов автора (*Анализ переходных процессов устройства типа «источник электропитания – накопитель - нагрузка»*. Ч.1, Ч.2. 1966-67. [RC.2, 3]. [//www.econf.rae.ru/article/7892](http://www.econf.rae.ru/article/7892)), а также научных докладов на НТК МЭИС (1967-68 гг. [RC.5, 7, 5эл, 7эл]. <http://econf.rae.ru/article/7893>) впервые в электронном варианте и авторском дизайне приводятся уникальные результаты математического и графического анализа непрерывных и импульсных процессов в R//C-схеме с двумя ключами. Использование **решетчатых функций** и принципов их решения посредством **дискретного преобразования Лапласа** позволило весьма просто выполнить **анализ** электрического состояния эквивалентно представляемых данной схемой импульсных устройств в **переходном импульсном** режиме (в динамике).



МИНИСТЕРСТВО СВЯЗИ СССР
МОСКОВСКИЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ СВЯЗИ

ТРУДЫ
МОСКОВСКОГО
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
СВЯЗИ

Выпуск 2

Под редакцией
И. В. КУШМАНОВА

В настоящий сборник «Труды МЭИС» вошли материалы научно-технической конференции Московского электротехнического института связи, проходившей в апреле 1968 года и посвящённой различным направлениям техники связи и смежных отраслей.

В «Труды» включены статьи по наиболее актуальным вопросам построения систем связи, проектирования антенн, телеграфии, источников электропитания, а также автоматизации и механизации почтовой связи.

Все замечания и предложения по сборнику просим направлять в редакционно-издательский отдел МЭИС.

=====

**К анализу схемы замещения устройств
с ёмкостным накопителем энергии**

Стр. 262–266. Поступило в октябре 1967 г.
Доложено 17.4.1968 г. на научно-технической конференции
профессорско-преподавательского состава
(НТК ППС) МЭИС, посвящённой Дню радио
Докладчик А.М. Репин

МОСКВА 1969

К АНАЛИЗУ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ УСТРОЙСТВ С ЁМКОСТНЫМ НАКОПИТЕЛЕМ ЭНЕРГИИ

Схема замещения показана на рис. 1, где

K ; K_1 — ключи, замыкание и размыкание которых имитирует тот или иной режим;

E^* — абсолютное значение постоянной э. д. с. *, равное, например, среднему значению напряжения холостого хода выпрямителя;

R^*_i — внутреннее сопротивление источника или зарядное сопротивление емкости (омы);

C — накопительная ёмкость;

R^*_n — эквивалентное активное сопротивление нагрузки (омы).

К такой схеме замещения могут быть сведены схемы целого ряда радио- и электротехнических устройств, имеющих на практике самое широкое применение: некоторые схемы формирования сигналов радиолокационных и телевизионных устройств, модуляторы с ёмкостным накопителем, дифференциальный и пиковый детекторы, выпрямители с фильтром, работающие на импульсную нагрузку и т. п.

В схеме рис. 1 возникают непрерывные процессы — при одnorазовом замыкании (размыкании) ключей и импульсные режимы — при их периодической работе. Те и другие содержат переходные и установившиеся процессы.

Работа схемы зависит от величины её элементов и определяется зарядно-разрядными процессами ёмкости C при некоторых, в общем случае ненулевых, начальных условиях, определяемых напряжением на ёмкости $U_c(0)$ в момент замыкания (размыкания) ключей.

Анализ импульсной работы схемы возможен только на базе анализа непрерывных процессов.

АНАЛИЗ НЕПРЕРЫВНЫХ ПРОЦЕССОВ

Из всех возможных, проанализированных комбинаций одnorазовых замыканий (размыканий) ключей K и K_1 , приведем два основных варианта работы схемы.

1. Замыкание ключа K_1 — при замкнутом ключе K для начальных условий $U_c(0)$, лежащих в пределах $0 \div E$.

* Здесь и далее величины со значком * приведены в абсолютных единицах (вольты, амперы, омы, секунды); величины без значка — в относительных (безразмерных) единицах.

2. Размыкание ключа K_1 — при начальных условиях, определяемых неравенством $0 \leq U_c(0) \leq E$ (ключ K замкнут).

Составив и решив уравнения для рассматриваемой схемы, получаем выражения для напряжений и токов в относительных (безразмерных) единицах при ненулевых начальных условиях:

$$\left. \begin{aligned} U_c(t^*) &= R_n \left(1 - me^{-\frac{t^*}{\tau_{*a}}} \right) = \frac{1}{a} \cdot i_n(t^*); \\ i(t^*) &= R_i \left(1 + \frac{m}{a} e^{-\frac{t^*}{\tau_{*a}}} \right); \\ i_c(t^*) &= -me^{-\frac{t^*}{\tau_{*a}}}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где

$$\begin{aligned} a &= \frac{R_i^*}{R_n^*} = \frac{R_i}{R_n}; \quad \tau_{*a} = R_{*a}^* C; \quad R_{*a}^* = \frac{R_i^* R_n^*}{R_i^* + R_n^*}; \\ E_a^* &= \frac{E_{*a}^*}{U_0} = R_n \frac{E^*}{U_0} = R_n = \frac{1}{1+a}; \quad \tau_{*a} = R_n \tau_{*i}; \\ \tau_{*i} &= R_i^* C; \quad R_i = \frac{R_i^*}{R_i^* + R_n^*}; \quad R_n = \frac{R_n^*}{R_i^* + R_n^*}; \\ m &= \frac{m^*}{U_0} = 1 - \frac{U_c(0)}{R_n}; \quad -a \leq m \leq 1; \\ i &= \frac{i^*}{i_0}; \quad U = \frac{U^*}{U_0}; \quad R = \frac{R^*}{R_0}; \end{aligned}$$

R_i ; R_n — относительные (безразмерные) сопротивления;
 E_a^* ; R_{*a}^* — эквивалентные э. д. с. и сопротивление, определяемые на основе теоремы об эквивалентном генераторе.

За базисные величины приняты: $U_0 = E^*$; $i_0 = \frac{E^*}{R_i^*}$; $R_0 = R_i^* + R_n^*$.

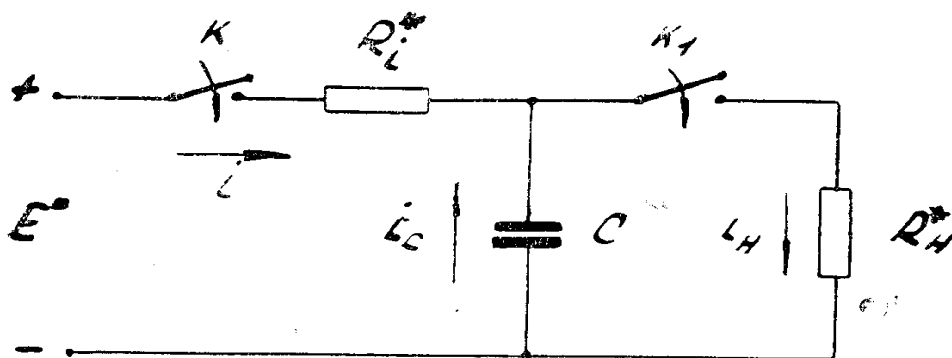


Рис. 1. Схема замещения.

Выражения (1) являются общими для обоих вариантов непрерывной работы схемы, указанных выше. В зависимости от начальных условий они описывают заряд и разряд ёмкости (для первого варианта). При $R_n^* = \infty$, т. е. при $a = 0$ $R_n = 1$ они описывают процессы заряда ёмкости для второго варианта.

Качественно графики функций напряжений и токов для вариантов I и II при $U_c(0) > 0$ представлены на рис. 2 (включая моменты времени $t = 0_-$ и $t = 0_+$).

Выражения (1) являются исходными для исследования импульсных процессов схемы. Вместе с тем они имеют и самостоятельное зна-

чение, поскольку позволяют провести анализ и синтез устройств, реальная схема которых сводится к схеме на рис. 1 для случая непрерывной работы (одноразовое замыкание или размыкание ключей) при нулевых и ненулевых начальных условиях.

АНАЛИЗ ИМПУЛЬСНОГО РЕЖИМА

Получение на выходе схемы периодической последовательности прямоугольных импульсов достигается в результате периодического замыкания ключа K_1 на время импульса $t^*_и$ и размыкания — на время паузы $t^*_п$ (период $T^*_и = t^*_и + t^*_п$).

Импульсный характер работы схемы превращает непрерывные функции (1) в функции с точками разрыва, что значительно затрудняет их исследование методами непрерывного анализа. Исследование импульсной работы схемы существенно упрощается, если функции, опи-

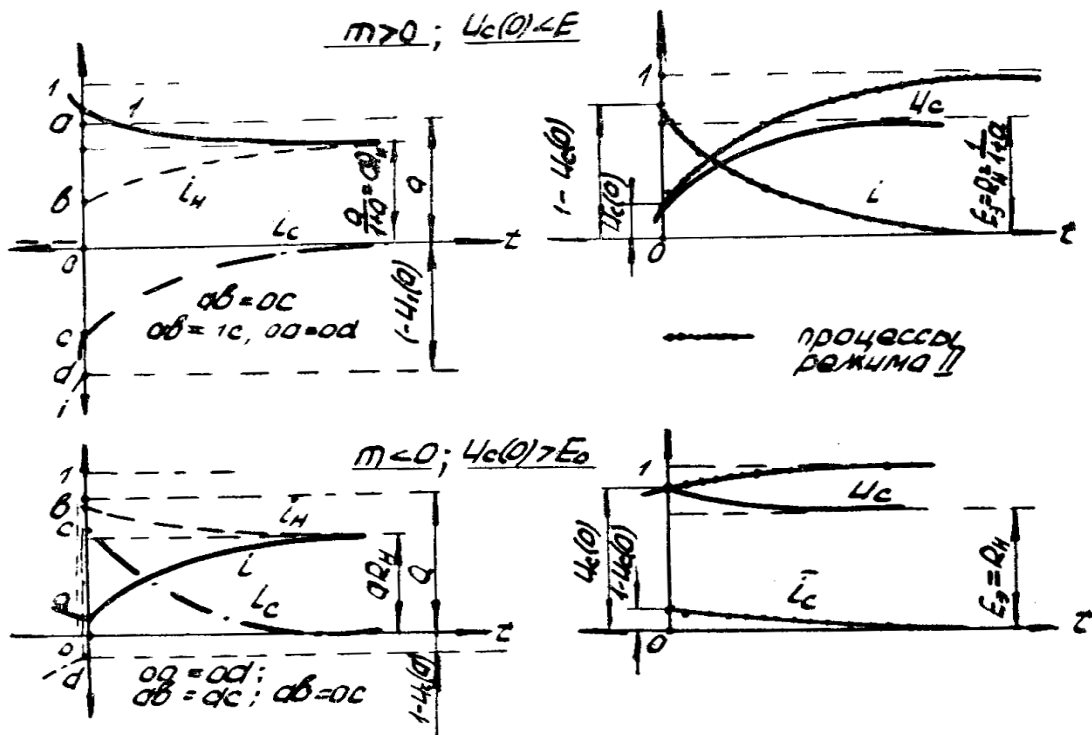


Рис. 2. Диаграммы напряжений и токов.

сывающие процессы в ней, рассматривать в дискретные, равноотстоящие моменты времени. Поэтому для исследования выбран математический аппарат функций дискретного аргумента — решетчатых функций [Л. 1].

Интервал дискретности T совпадает с периодом коммутации $T_и$, поэтому можно воспользоваться введением относительных (безразмерных) временных параметров [Л. 1]. После преобразований выражения (1) для напряжения на ёмкости во время импульса и паузы получим неоднородное линейное разностное уравнение первого порядка с постоянными коэффициентами, с искомой решетчатой функцией $U_c[n]$, где n — целое положительное число.

После решения этого уравнения с помощью аналитического метода дискретного преобразования Лапласа (D — преобразования), введения текущего времени $t = n + \varepsilon$ (где $t = \frac{t^*_и}{T^*_и} \cdot 0 \leq \varepsilon \leq 1$ — относительная текущая координата внутри периода дискретности), получаем законы изме-

нения напряжения на ёмкости во время импульса U_c^n и паузы U_c^n через смещенные решетчатые функции $U_c[n, \varepsilon]$:

$$U_c^n(t) = U_c[n, \varepsilon] = R_H - \left(R_H - v \frac{1 - e^{-\alpha n}}{1 - e^{-\alpha}} - U_c(0) e^{-\alpha n} \right) e^{-\frac{\varepsilon}{\tau_3}}, \quad (2)$$

$$0 \leq \varepsilon \leq s,$$

$$U_c^n(t) = U_c[n_1 \varepsilon] = 1 - \left[R_i + \left(R_H - v \frac{1 - e^{-\alpha n}}{1 - e^{-\alpha}} - U_c(0) e^{-\alpha n} \right) e^{-\alpha_3} \right] e^{-\frac{\varepsilon - s}{\tau_i}}, \quad (3)$$

$$s \leq \varepsilon \leq 1,$$

где

$$\alpha = \alpha_i + \alpha_3 = \frac{1 + as}{\tau_i}; \quad \alpha_i = \frac{1 - s}{\tau_i} = \frac{t_{*n}^*}{\tau_{*i}^*}; \quad \alpha_3 = \frac{s}{\tau_3} = \frac{t_{*n}^*}{\tau_{*3}^*};$$

$$a = \frac{R_i}{R_H}; \quad s = \frac{t_{*n}^*}{T_{*n}^*}; \quad \tau_i = \frac{\tau_{*i}^*}{T_{*n}^*}; \quad \tau_3 = \frac{\tau_{*3}^*}{T_{*n}^*};$$

$$v = 1 - R_i e^{-\alpha_i} - R_H e^{-\alpha} = R_H (1 - e^{-\alpha}) + R_i (1 - e^{-\alpha_i});$$

$$t = \frac{t^*}{t_0^*}; \quad \tau = \frac{\tau^*}{t_0^*}; \quad t_0 = T_{*n}^*.$$

Полагая $n=0$, из формулы (2) получаем выражение для $U_c(t^*)$, см. формулу (1).

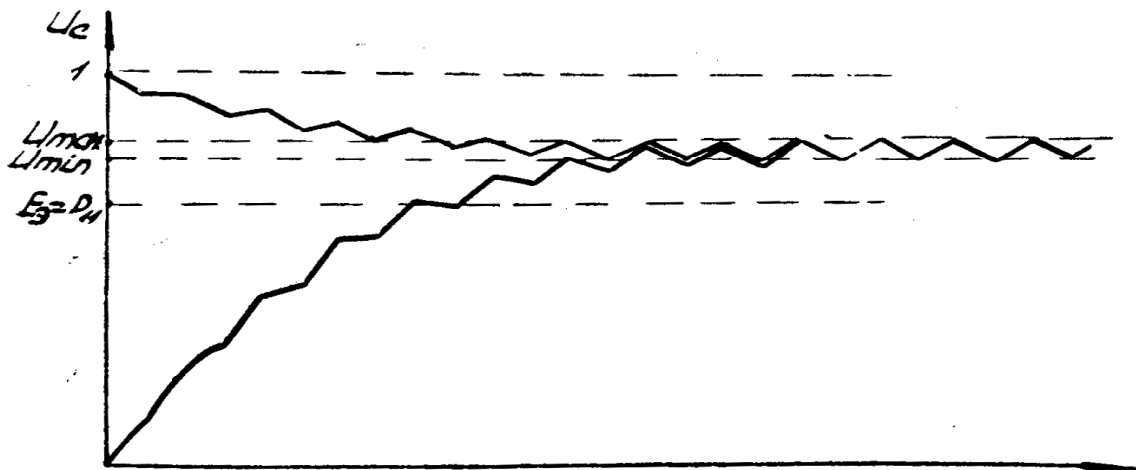


Рис. 3. Диаграмма импульсного процесса.

Выражение (2) описывает и форму импульсов на нагрузке. Выражения (2) и (3) отражают переходные и установившиеся импульсные процессы. На их основе проведён анализ этих процессов, в результате чего разрешён ряд вопросов. Например, анализ переходных процессов позволил представить физику переходного импульсного режима при ненулевых (нулевых) начальных условиях; форму импульсов на нагрузке в переходном и, как частный случай, в установившемся режимах; определить время выхода схемы в установившийся режим — весьма важный параметр в системах оперативной готовности, в радиолокации и т. п. Анализ установившегося режима позволил составить методику расчёта элементов схемы, оптимальных с точки зрения заданных к. п. д. и пульсаций напряжения на нагрузке.

В заключение отметим, что подробное изложение этих вопросов выходит за рамки настоящей работы. Для иллюстрации приведём качественную картину переходного импульсного процесса, полученную из

анализа переходного импульсного режима (рис. 3) и выражения для амплитуд переднего (U_{\max}) и заднего (U_{\min}) фронтов импульса, полученные из анализа установившегося импульсного режима:

$$U_{\max} = R_n + R_i \frac{1 - e^{-\alpha t}}{1 - e^{-\alpha}}; \quad U_{\min} = R_n + R_i \frac{1 - e^{-\alpha t}}{1 - e^{-\alpha}} e^{-\alpha t}.$$

ВЫВОДЫ

1. В работе проведён анализ непрерывных и импульсных процессов схемы замещения устройств с ёмкостным накопителем энергии. Получены аналитические выражения для этих процессов, являющиеся основой синтеза цепей и устройств, эквивалентная схема которых сводится к рассмотренной.

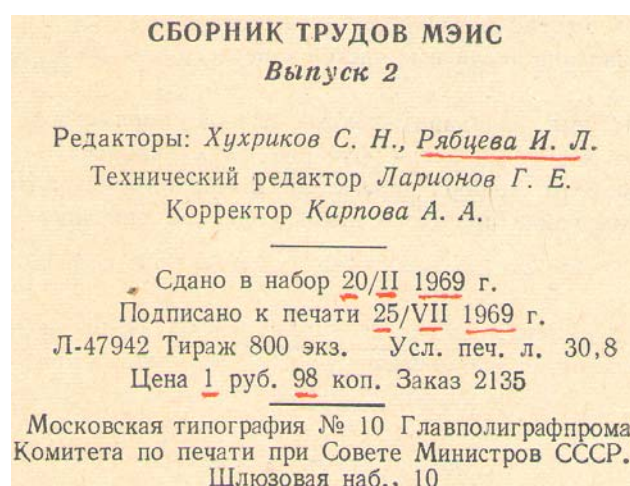
2. В работе использованы решетчатые функции и принципы их решения посредством дискретного преобразования Лапласа, что позволило весьма просто провести анализ динамики схемы.

3. К рассмотренной схеме замещения сводится целый ряд устройств, в частности, источники питания с накопительной ёмкостью, модуляторы, элементы вычислительной техники и т. п.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цыпкин Я. З., Теория линейных импульсных систем. Госиздат физ. мат. литературы, 1963.

266



352

Продолжение следует.

© А.М. Репин. 1967, -68, -69. 6.9.2013