

с нормальным ритмом. Были рассмотрены результаты моделирования различных аритмий сердца и состояний, близких к их возникновению. В качестве последних рассматривались комбинации параметров модели сердца, достаточно близкие к патологическому состоянию, но когда нарушения ритма на выходном сигнале узлов автоматии при обычных условиях еще не заметны. Во всех этих случаях на гистограммах и ритмограммах можно визуально отметить отличия от структуры ритма в состоянии нормы.

Для количественной оценки использовались показатели variability ритма, вычисляемые во временной области. После расчета показателей на плоскости строились наборы точек для каждой группы состояний и проводились попытки объединить их в кластеры.

Было замечено, что точки группируются в отдельные области, однако четко выделить приближение к патологии затруднительно. Для анализа сгенерированных моделью ритмограмм также были использованы индексы Баевского и треугольная интерполяция гистограммы интервалов. Были получены графики зависимости значений коэффициентов от частоты дыхания и глубины дыхательной модуляции. Однако, использование этих стандартных показателей variability также не позволило четко выделить состояние сердечной мышцы, близкое к патологии, из общего множества состояний.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что для ранней диагностики предаритмических состояний на основе анализа сердечного ритма необходима разработка новых, более чувствительных и специфичных показателей variability ритма сердца.

ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЛИТУДНО-И ФАЗОЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК RC-СТРУКТУРЫ С НЕОДНОРОДНЫМИ РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Боднарчук Г.А., Дмитриев В.Д.

Широкие функциональные возможности RC-структур с неоднородными распределенными параметрами и использование их в гибридных интегральных микросхемах вызывает необходимость более полного их исследования. В работе [1] рассмотрены амплитудно-частотные (АЧХ) и фазочастотные (ФЧХ) характеристики RC-структуры, распределенные параметры которой выполнены изменением ширины пленок по экспоненциальному закону $B(x) = B(0) \cdot e^{\pm \beta x}$, где $\beta \ell = \ln \frac{B(\ell)}{B(0)}$, $B(0)$ и $B(\ell)$ – ширина пленок в начале и конце структуры, ℓ – длина структуры (рис. 1). Однако в

указанной работе не приводится количественная оценка АЧХ и ФЧХ. Данная статья является дополнением к данной работе.

Для анализа используем известное выражение коэффициента передачи рассматриваемой RC-структуры

$$K(\omega) = \frac{\theta \cdot e^{\pm \frac{\beta \ell}{2}}}{\frac{\beta \ell}{2} \operatorname{sh} \theta + \theta \cdot \operatorname{ch} \theta}, \quad (1)$$

где $\theta = \sqrt{\left(\frac{\beta \ell}{2}\right)^2 + j\omega RC}$.

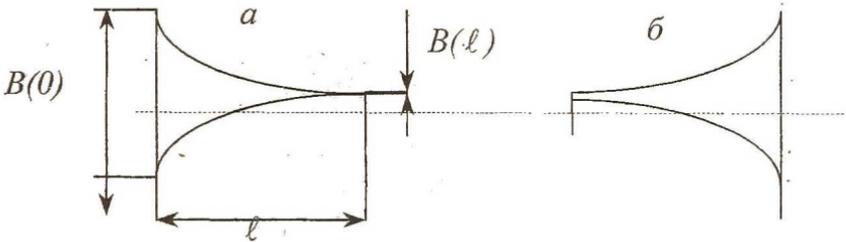


Рисунок 1. Конструкция RC-структур: а – прямое включение; б – инверсное включение

Раскладывая выражение (1) на вещественную и мнимую части можем записать формулы для модуля коэффициента передачи

$$|K(\omega)| = \frac{1}{\sqrt{\operatorname{Re}^2(K) + \operatorname{Im}^2(K)}} \quad (2)$$

и для ФЧХ

$$\varphi = -\operatorname{arctg} \frac{\operatorname{Im}(K)}{\operatorname{Re}(K)}, \quad (3)$$

где

$$\operatorname{Re}(K) = e^{\pm \frac{\beta \ell}{2}} \left[\operatorname{cha} \cdot \cos b + \frac{\pm \beta \ell}{2(a^2 + b^2)} (a \cdot \operatorname{sha} \cdot \cos b + b \cdot \operatorname{cha} \cdot \sin b) \right]$$

$$\operatorname{Im}(K) = e^{\pm \frac{\beta \ell}{2}} \left[\operatorname{sha} \cdot \sin b + \frac{\pm \beta \ell}{2(a^2 + b^2)} (a \cdot \operatorname{cha} \cdot \sin b) + b \cdot \operatorname{sha} \cdot \cos b \right],$$

$$a = \sqrt{\frac{\left(\frac{\beta \ell}{2}\right)^2 + \sqrt{\left(\frac{\beta \ell}{2}\right)^4 + (\omega RC)^2}}{2}}, \quad b = \frac{\omega RC}{2a}.$$

Рассмотрим зависимость модуля коэффициента передачи (2) при различных значениях βl . При этом наибольший интерес представляет величина коэффициента ослабления на декаду относительно уровня -3 дБ. Такие графики для прямого и инверсного включений приведены на рис. 2. Из графиков видно, что для прямого включения RC-структуры с увеличением степени неоднородности βl избирательные свойства улучшаются, например, для значения $\beta l = 5$ коэффициент ослабления составляет $-35,33$ дБ/дек.

Рассматриваемую характеристику с высокой точностью можно аппроксимировать линейной зависимостью

$$K = -(21,28 + 2,8 \cdot \beta l) \text{ дБ/дек.} \quad (4)$$

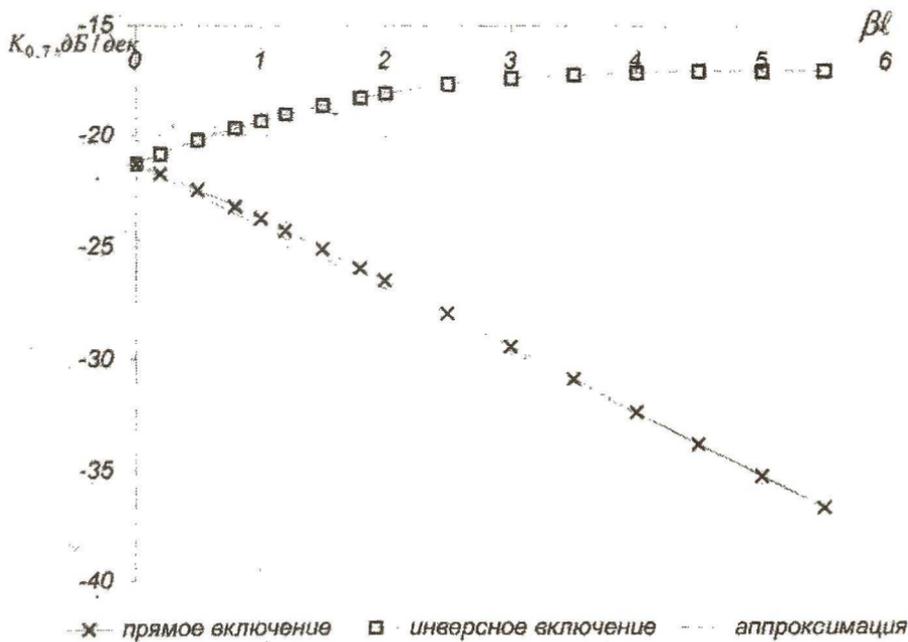


Рисунок 2. Зависимость коэффициента ослабления от βl на декаду по уровню -3 дБ.

При этом максимальная погрешность от истинной зависимости составляет менее 1,1%.

Инверсное включение той же RC-структуры приводит к ухудшению избирательных свойств. При этом резкое изменение происходит для значений $0 < \beta l < 3$. При $\beta l > 3$ коэффициент ослабления RC-структуры

стремится к значению -17 дБ/дек, т.е. к значению соответствующему RC-цепи на дискретных элементах.

Другое назначение RC-структуры – применение ее в качестве фазосдвигающей цепи в RC-генераторах. В этом случае, важно определение коэффициента ослабления на частоте, соответствующей фазовому повороту -180° . Так как $\varphi = -180^\circ$, то на основе выражения (3) получаем условие $\text{Im}(K) = 0$ для определения значений ωRC в зависимости от βl , которое после несложных преобразований принимает следующий вид:

$$i\eta a = \frac{\pm \frac{\beta l}{2} \cdot \frac{a}{a^2 + b^2} \cdot \text{tg} b}{\pm \frac{\beta l}{2} \cdot \frac{b}{a^2 + b^2} \cdot -\text{tg} b} \quad (5)$$

При этом модуль коэффициента передачи определяется выражением:

$$K(\omega) = \frac{1}{\text{Re}(K)} \quad (6)$$

Как при прямом, так и инверсном включении каждому значению βl соответствует определенная величина ωRC . На рис.3 на основе выражения (5) приведены графики зависимости ωRC от величины βl .

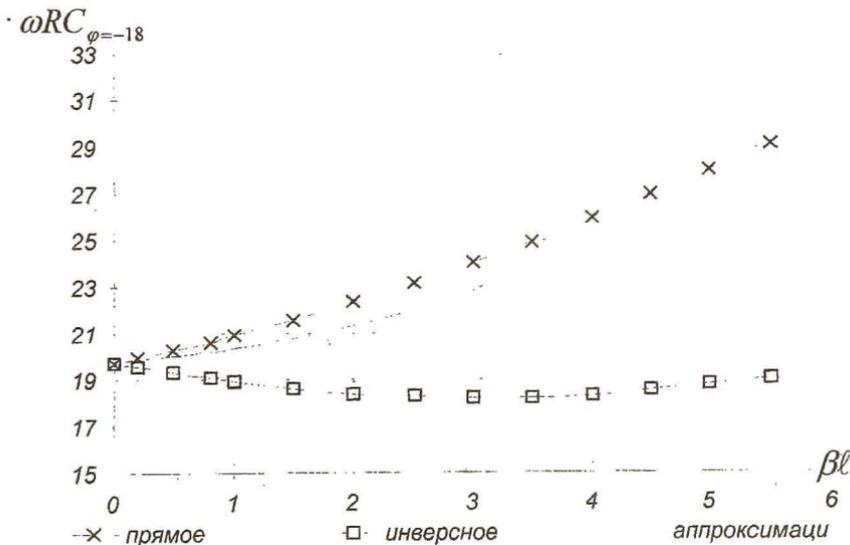


Рисунок 3 – Зависимость ωRC при фазовом угле поворота $\varphi = -180^\circ$ от βl

Для случая прямого включения значения ωRC плавно сдвигаются в область высоких частот. Например, при величине $\beta l = 5$

$\omega RC = 28,04$. График этой зависимости можно аппроксимировать выражением

$$\omega RC = 18,75 + e^{0,47 \cdot \beta \ell} \quad (7)$$

В данном случае максимальные погрешности составляют +4% и -4,5%, что вполне допустимо. При инверсном включении RC-структуры изменение величины ωRC незначительно.

Для определения значений коэффициента ослабления воспользуемся формулами (6) и (5) или графиками рис.3. На рис.4 приведены графики зависимости коэффициента ослабления, в частности при $\beta \ell = 5$ он составляет -14,48дБ. Данный график можно аппроксимировать выражением

$$K = -[24,29 - 5,2 \cdot \ln(1 + \beta \ell)], \text{ дБ.}$$

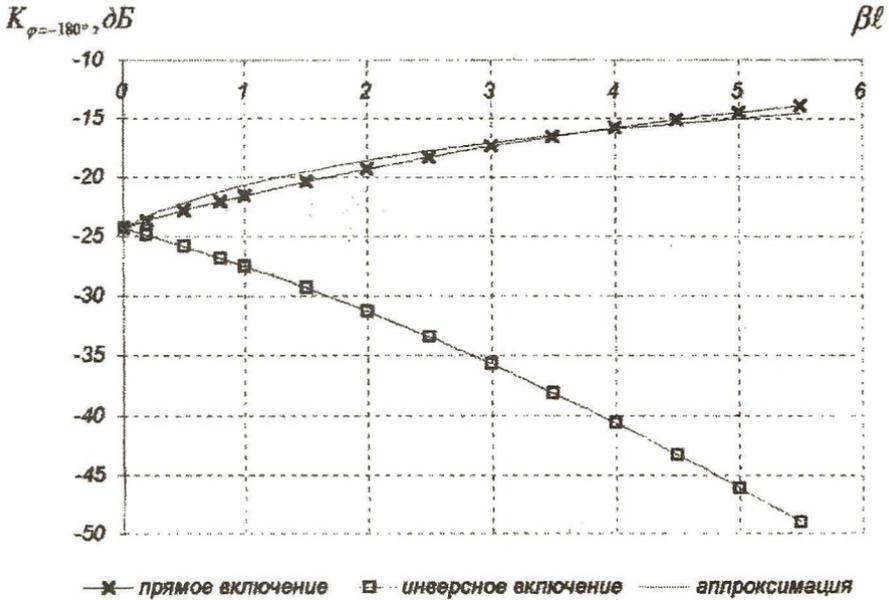


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента ослабления при фазовом угле поворота $\varphi = -180^\circ$ от $\beta \ell$.

Максимальные погрешности аппроксимации составляют +3,3% и -3,9%.

Следует отметить, что приведенные данные могут быть полезны при разработке RC-структур, распределенные параметры которых изменяются по экспоненциальному закону.