

## УДК 53.043

Экспериментальное исследование эффекта передачи электрического сигнала со скоростью выше скорости света с помощью отрицательной групповой задержки

Рябов Д.Р., Юрова Т.С., Шубник А.А. (Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия)

Научный руководитель - Горшков Константин Сергеевич (Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия)

Как известно, в области аномальной дисперсии, находящейся внутри полосы поглощения, групповая скорость может превышать скорость света в вакууме или даже быть отрицательной. В сосредоточенных системах, таких как электронные схемы, сверхсветовая групповая скорость вызвана так называемой отрицательной групповой задержкой. Подобный эффект является важной особенностью электрических цепей, так как он широко используется для устранения искажений формы электрического сигнала.

Для исследования эффекта сверхсветового распространения звукового сигнала с использованием отрицательной групповой задержки необходимо собрать схему, в которую входят два одинаковых светодиода. На первый подается исходный импульс, на второй – импульс, прошедший через блок отрицательной групповой задержки. В качестве желаемого результата мы хотим наблюдать включение светодиода на входе с задержкой по сравнению со светодиодом на выходе схемы, что будет свидетельствовать об исследуемом эффекте.

Помимо непосредственной сборки схемы, включающей блок генерации импульсов Гаусса, блок отрицательной групповой задержки и цепь светодиодов, необходимо подобрать соответствующие параметры и осуществить моделирование для оптимального наблюдения эффекта.

С точки зрения теории эффект объясняется следующим образом. Групповая скорость  $v_g^{-1}$  определяется по формуле

$$v_g^{-1} = \frac{dk}{d\omega} \Big|_{\omega_0}$$

Аналогично, групповая задержка определяется как

$$t_d = -\frac{d\phi}{d\omega} \Big|_{\omega_0}$$

где  $\phi$  – сдвиг по фазе при прохождении через систему с сосредоточенными параметрами длины  $L$ :  $\phi(\omega) = -k(\omega) \cdot L$ . Связывая данные выражения и учитывая суммарное время прохождения через систему как  $t_{total} = \frac{L}{c} + t_d$  находим соотношение, связывающее групповую скорость и групповую задержку:

$$\frac{1}{v_g} = \frac{1}{c} + \frac{t_d}{L}$$

Таким образом, в случае отрицательной групповой задержки при определенных соотношениях групповая скорость может превышать скорость света ( $-t_d < \frac{L}{c}$ ) или даже быть отрицательной.

В электрической цепи в области низких частот отрицательные групповые задержки близки к модели идеальных задержек, именно потому в цепь интегрирован блок

генерации импульсов Гаусса, который включает в себя низкочастотные фильтры. Для непосредственной генерации задержки используется операционный усилитель.

Для моделирования экспериментального процесса использовалась среда электротехнического моделирования LT Spice

- Произведен расчет параметров для генератора импульсов Гаусса, смоделирована работа блока отрицательной задержки (получены значения порядка десятых долей секунды)
- Осуществлено каскадирование блоков отрицательной задержки для визуального фиксирования эффекта наблюдателем
- Цепь светодиодов интегрирована в соответствующую схему, получены теоретически желаемые результаты

После подбора необходимых параметров и сборки электрической цепи, был обнаружен желаемый эффект: светодиод на входе действительно загорается с некоторой задержкой по сравнению со светодиодом на выходе, что и было зафиксировано.

Автор

Рябов Д.Р.

Научный руководитель

Горшков К.С.