

**ВРЕМЕННОЙ ОТКЛИК ФИЛЬТРА ПОДАВЛЕНИЯ СВЕРХКОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ
В СЕТИ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТОЛЩИНЫ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ
ПОДЛОЖКИ**

А.Т. Газизов

Научный руководитель: доцент, к.т.н. А.М. Заболоцкий

Томский Политехнический Университет, ТУСУР

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: gazizov@tpu.ru

**TIME RESPONSE OF THE ULTRAWIDE BAND PULSES SUPPRESSION FILTER
FOR POWER NETWORK DEPENDING ON THICKNESS OF THE DIELECTRIC SUBSTRATE**

A.T. Gazizov

Scientific Supervisor: A.M. Zabolotsky

Tomsk Polytechnic University, TUSUR, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: gazizov@tpu.ru

Annotation. Time response of the ultrawide band pulses suppression filter for power network protection based on asymmetrical modal filter structure is considered for different thicknesses of the dielectric substrate. Importance of taking into account frequency depended losses both in conductors and dielectrics is revealed.

В настоящее время возрастает угроза воздействия по сети электропитания сверхкоротких импульсов (СКИ), способных приводить к сбою или выводу из строя электронной аппаратуры [1]. Традиционные защитные компоненты (LC-фильтры, варисторы, газоразрядники, TVS-диоды), а, следовательно, и защитные устройства на их основе (сетевые фильтры, источники бесперебойного питания и др.) не обеспечивают защиту от СКИ [2]. На данный момент известны только промышленные устройства для защиты от СКИ, имеющие крупные габариты и высокую стоимость [3]. Таким образом, актуальна разработка и исследование новых устройств защиты от СКИ в сети электропитания. В работе [4] впервые предложена идея создания фильтра подавления СКИ в сети электропитания на основе печатного модального фильтра (МФ) и представлены его перспективные преимущества. Показано, что МФ может быть выполнен в виде полоски из тонкого фольгированного стеклотекстолита и встроен в сетевой фильтр. Цель данной работы - представить результаты моделирования временного отклика МФ в зависимости от толщины диэлектрической подложки.

Моделирование электрических характеристик произвольных трехмерных структур с электрически большими размерами часто проводится посредством электродинамического анализа, однако для протяженных по одной координате структур с неизменными параметрами в поперечном сечении более эффективен квазистатический анализ. В частности, он позволяет получить результаты с учетом частотнозависимых потерь в проводниках и диэлектриках. В данной работе используется квазистатический анализ, основанный на быстрых и точных математических моделях, внедренных в систему TALGAT [5]. В ней любая линия передачи полагается регулярной с произвольным поперечным

«ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК»

сечением. Отрезок линии передачи, с N сигнальными проводниками и одним опорным, описывается следующими матрицами погонных параметров: электромагнитной индукции (\mathbf{L}), электростатической емкости (\mathbf{C}), сопротивления (\mathbf{R}), проводимости (\mathbf{G}). Задается произвольное периодическое воздействие во временной области, выполняется его быстрое преобразование Фурье. Для каждой частоты определяются напряжения в каждом узле. Матрицы \mathbf{L} и \mathbf{C} вычисляются методом моментов [6]. Напряжения во временной области получаются с помощью обратного преобразования Фурье.

Электрические характеристики МФ вычислялись для поперечного сечения (Рис. 1а) с различной толщиной диэлектрической подложки $h=0,5; 1; 1,5$ мм (типовые значения толщин) с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_r=4$ (дешевый и распространенный материал FR-4). Остальные параметры МФ выбраны из практических соображений: расстояние между проводниками $s=5$ мм и ширина проводников $w=5$ мм (МФ должен помещаться в сетевой фильтр); толщина проводников $t=105$ мкм (большая толщина фольги для больших токов); расстояние между краем структуры и проводником $d=w$.

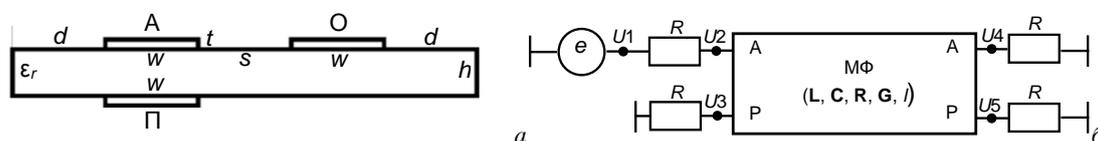
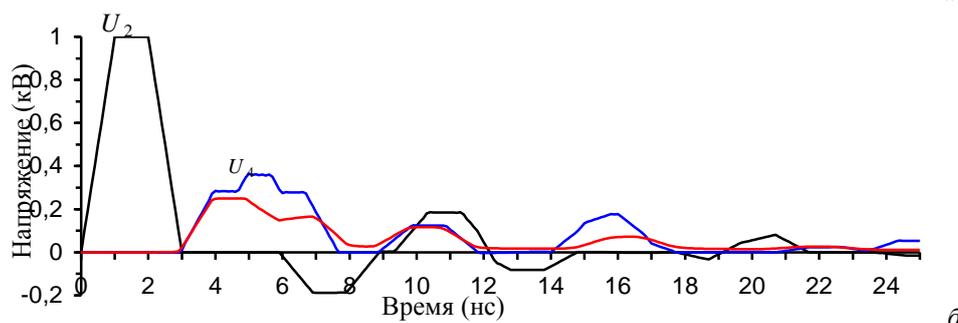
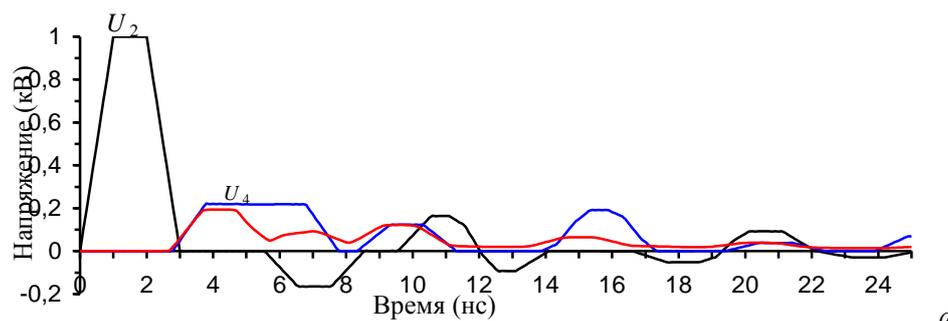


Рис. 1. Поперечное сечение (а) и схема включения (б) модального фильтра

Импульс подается между активным (А) и опорным (О) проводниками (Рис. 1а). Схема включения МФ представлена на Рис. 1б, где источник трапециевидных импульсных сигналов с длительностями фронтов и плоской вершины по 1 нс и амплитудой 2 кВ представлен идеальным источником ЭДС; U_1-U_5 – узлы; R – сопротивления, равные среднегеометрическому значению импедансов четной и нечетной мод; длина структуры $l=0,5$ м.

Вычисленные формы сигнала на ближнем (U_2) и дальнем (U_4) концах активного проводника МФ с учетом потерь и без них для различных толщин h диэлектрической подложки представлены на Рис. 2.



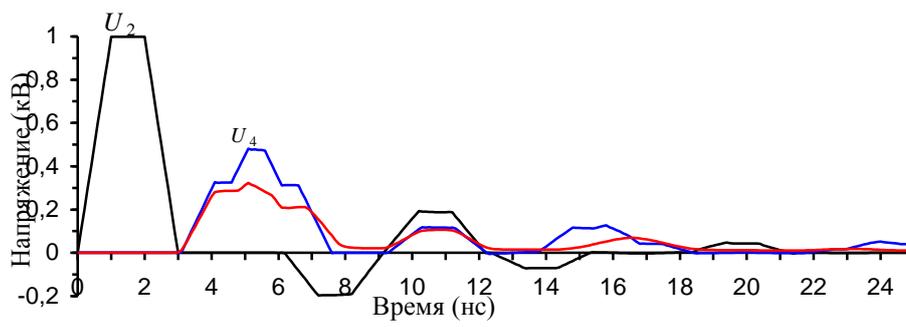


Рис. 2. Временные отклики МФ при $h=0.5$ (а), 1 (б), 1.5 (в) мм с учетом (—) и без учета (—) потерь

Рассмотрим результаты моделирования без потерь (синяя кривая, Рис. 2), которое обычно используется на предварительных этапах исследований, поскольку требует меньших вычислительных затрат. Видно, что при увеличении толщины h диэлектрической подложки, расстояние между разлагаемыми импульсами уменьшается, что приводит к их наложению и увеличению амплитуды U_4 на выходе устройства с 0.2 до 0.5 кВ. Таким образом, при анализе временного отклика устройства без учета потерь может возникнуть неверный вывод о том, что структуры с $h=1$ и 1.5 мм (Рис. 2б,в) не удовлетворяют требованиям разложения опасного помехового импульса. Между тем, потери в проводниках и диэлектриках с учетом частотной зависимости сильно влияют на амплитуду импульса на выходе МФ (красная кривая Рис. 2): именно учет потерь показывает то, что амплитуда U_4 на выходе устройства при увеличении толщины диэлектрика увеличивается лишь до 0.3 кВ, что делает реализацию устройства с $h=1$ мм приемлемой для практики.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-19-01232) в ТУСУРе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Genender, E., Garbe, H., Sabath F. Probabilistic Risk Analysis Technique of Intentional Electromagnetic Interference at System Level. IEEE Trans. on Electromagn. Compat., vol.56, no.1, pp.200,207, Feb. 2014
2. Zabolotsky, A.M., Gazizov, T.R., Bova, A.G., Radasky, W.A. Dangerous pulse excitation of coupled lines. 17-th Int. Zurich Symp. on Electromagnetic Compatibility. EMC-Zurich 2006, 164--167 (2006). doi: 10.1109/EMCZUR.2006.214895
3. ЭМСОТЕХ. Фильтр подавления сверхширокополосных импульсов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.emcotec.ru/catalog/fpsi>. – 24.02.15.
4. Газизов А. Т. Идея создания фильтра подавления сверхкоротких импульсов в сети электропитания // Научная сессия ТУСУР-2014: материалы Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 5-ти частях. Часть 5, Томск, 14-16 Мая 2014. - Томск: В-Спектр, 2014 - С. 140-142
5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2012610712. TALGAT 2010. Авторы: Газизов Т.Р., Мелкозеров А.О., Газизов Т.Т. и др. Заявка №2011617178. Дата поступления: 26 сентября 2011 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 13 января 2012 г.
6. Gazizov, T.R. Analytic expressions for Mom calculation of capacitance matrix of two dimensional system of conductors and dielectrics having arbitrary oriented boundaries. Proc. of the 2001 IEEE EMC Symp., 151--155 (2001). doi: 10.1109/ISEMC.2001.95057