

Общество с ограниченной ответственностью
"НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ "ДЖЕНЕРУС"
(российский производитель ультразвуковых систем)

**ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
СИЛОВОЙ СХЕМЫ ПЕРСПЕКТИВНОГО
УЛЬТРАЗВУКОВОГО ГЕНЕРАТОРА**

С.А. Иритков, С.В. Янкевич



ПРЕЗЕНТАЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ

GENERUS

GENERUS

Актуальность исследования

Построение новых энергоэффективных ультразвуковых генераторов является актуальной задачей для теплоэнергетике, гидроэнергетике, а также для интенсификации технологических процессов в пищевой промышленности. Задача таких систем генерировать максимальную акустическую мощность на магнитострикционном преобразователе (МП) с минимальным потреблением электроэнергии и иметь высокий КПД.

Из всех известных на сегодняшний день схем построения низкочастотных силовых ультразвуковых генераторов наиболее энергоэффективная схема – это мостовая схема инвертора на IGBT транзисторах со встроенным блоком подмагничивания. Построение математической модели такой схемы для дальнейшего анализа и моделирования является актуальной задачей.

Использование тиристорных схем построения ультразвуковых генераторов на сегодняшний день становится не актуальным решением, так как тиристоры имеют низкий КПД, высокую стоимость, сложную систему управления с большим потреблением энергии цепью управления и ограниченное применение в виде нагрузки магнитострикционных преобразователей.

Объекты и методы исследования

Для построения математической модели используем схему замещения магнитострикционной нагрузки включенной в силовой инвертор вместе с подмагничиванием рис.1. Данная схема представлена без силовых ключей и выводится из предыдущих работ. При построении математической модели примем для имитации переключения силовых IGBT транзисторов входной синусоидальный сигнал E_1 с частотой периода 20 кГц, что соответствует частоте коммутации силовых ключей в реальном ультразвуковом генераторе. С учетом этого рабочий цикл инвертора можно не разбивать на интервалы непрерывности со своими схемами замещения.

Тогда анализ работы силовой части инвертора с подмагничиванием сводится к рассмотрению процессов в линейной непрерывной части и, используя метод переменных состояния получим следующие матричные уравнения.

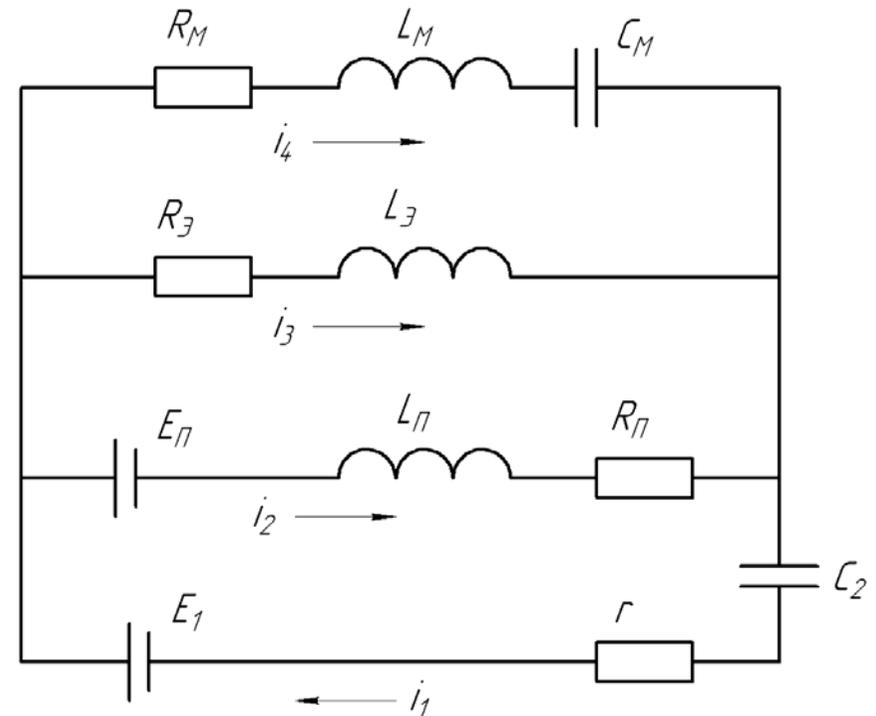


Рис. 1. Схема замещения магнитострикционной нагрузки инвертора с подмагничиванием

Объекты и методы исследования

Для этого введем вектор состояния неизвестных переменных $\mathbf{x}_\Phi = [i_{L\Pi}, i_{LЭ}, i_{LM}, u_{C2}, u_{CM}]$ и запишем систему уравнений в нормальной форме:

$$\frac{d\mathbf{x}_\Phi}{dt} = \mathbf{A}_{\text{н.}\Phi} \mathbf{x}_\Phi + \mathbf{B}_{\text{н.}\Phi} \mathbf{v}_\Phi \quad (1),$$

где $\mathbf{A}_{\text{н.}\Phi}$ – матрица линейной непрерывной части; $\mathbf{B}_{\text{н.}\Phi}$ – матрица, учитывающая влияние вектора внешних воздействий \mathbf{v}_Φ . Уравнение (1) записано для вектора \mathbf{x}_Φ с физическими координатами. Матрицы $\mathbf{A}_{\text{н.}\Phi}$ и $\mathbf{B}_{\text{н.}\Phi}$ имеют вид:

$$\mathbf{A}_{\text{н.}\Phi} = \begin{vmatrix} \frac{r + R_\Pi}{L_\Pi} & \frac{-r}{L_\Pi} & \frac{-r}{L_\Pi} & -\frac{1}{L_\Pi} & 0 \\ \frac{-r}{L_E} & \frac{R_E + r}{L_E} & \frac{-r}{L_E} & -\frac{1}{L_E} & 0 \\ \frac{-r}{L_M} & \frac{-r}{L_M} & \frac{R_M + r}{L_M} & -\frac{1}{L_M} & -\frac{1}{L_M} \\ \frac{1}{C_2} & \frac{1}{C_2} & \frac{1}{C_2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{C_M} & 0 & 0 \end{vmatrix} \quad \mathbf{B}_{\text{н.}\Phi} = \begin{vmatrix} \frac{E_I \cdot \sin(2\pi \cdot 20000 \cdot t)}{L_\Pi} - \frac{E_\Pi}{L_\Pi} \\ \frac{E_I \cdot \sin(2\pi \cdot 20000 \cdot t)}{L_E} \\ \frac{E_I \cdot \sin(2\pi \cdot 20000 \cdot t)}{L_M} \\ L_M \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}$$

Объекты и методы исследования

Решение уравнения 5-го порядка аналитическими методами довольно затруднительная задача, поэтому воспользуемся написанием специальной программы в системе MatLab и методом Рунге - Кутты 5-го порядка с автоматическим выбором шага интегрирования в зависимости от заданной точности и используем для этого функцию [ode45](#) в системе MatLab.

Пример листинга программы в MatLab

```
clc
clear all
close all
%% Задание времени моделирования
t=0.005;

%% Запуск модели на моделирование
open('model_cor.slx');
sim('model_cor.slx');

%% Решение системы диф.уравнений
[T,Y]=ode45('diff_solve',[0,t],[0,0,0,0,0]);
i1=Y(:,1)+Y(:,2)+Y(:,3);
:
:
```

Обсуждение результатов

Результаты решения уравнения (1) в системе MatLab и одновременное решение виртуальной модели в пакете Simulink представлены на рис. 2, 3, 4, 5, 6.

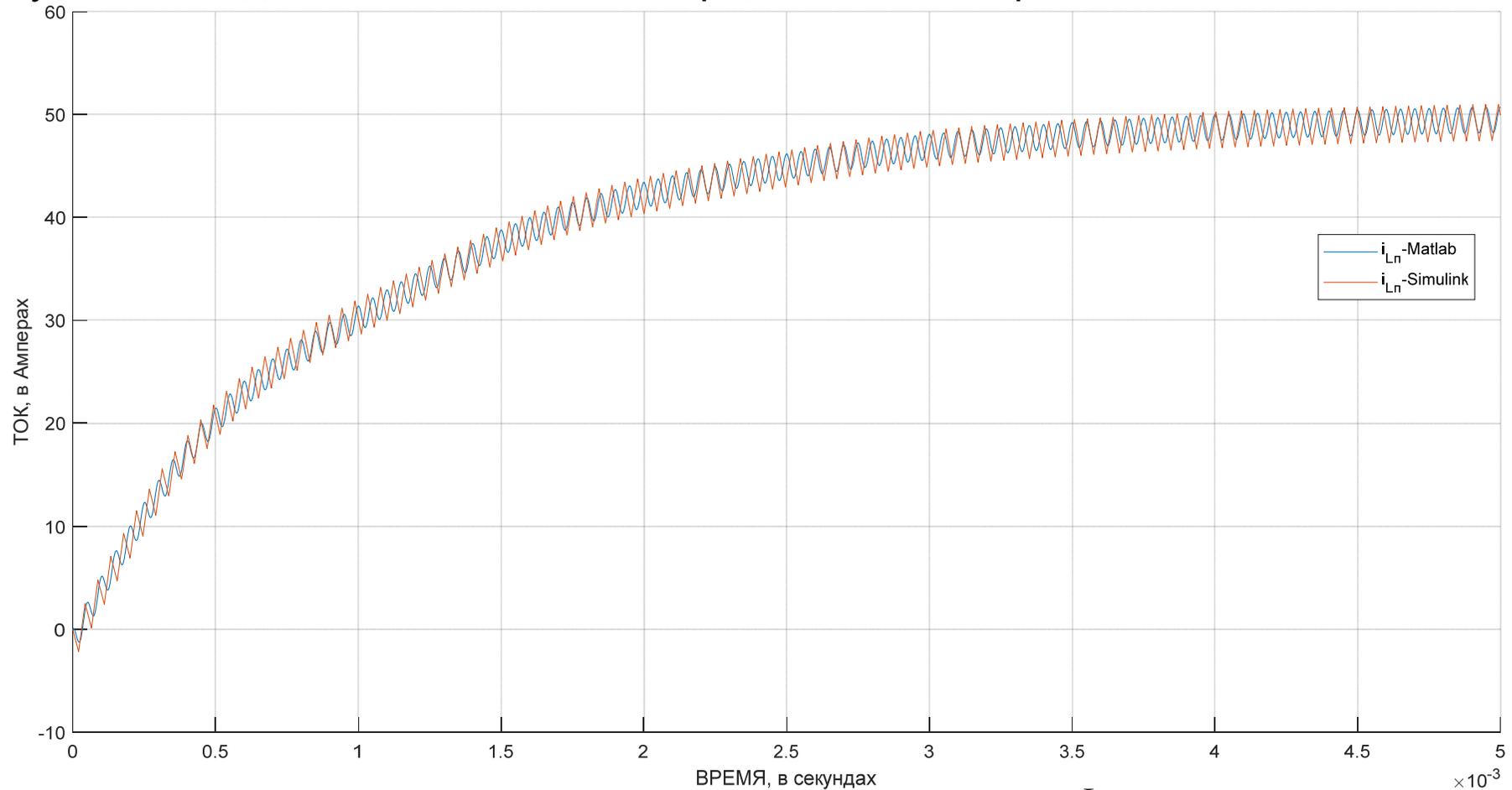


Рис. 2. Ток дросселя подмагничивания $L_{П}$

Обсуждение результатов

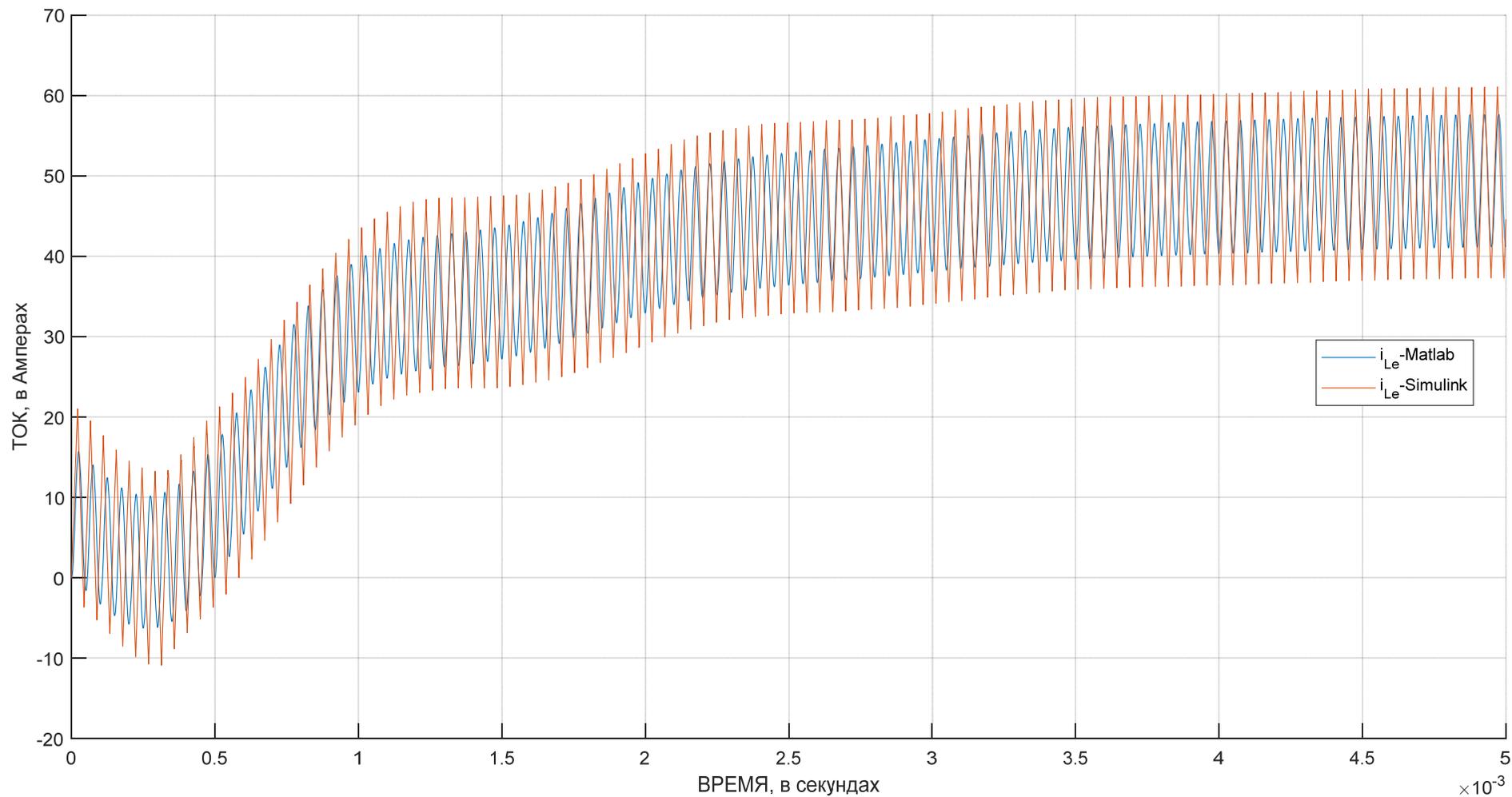


Рис. 3. Ток через индуктивность $L_{\mathcal{E}}$ электрической части МП



Обсуждение результатов

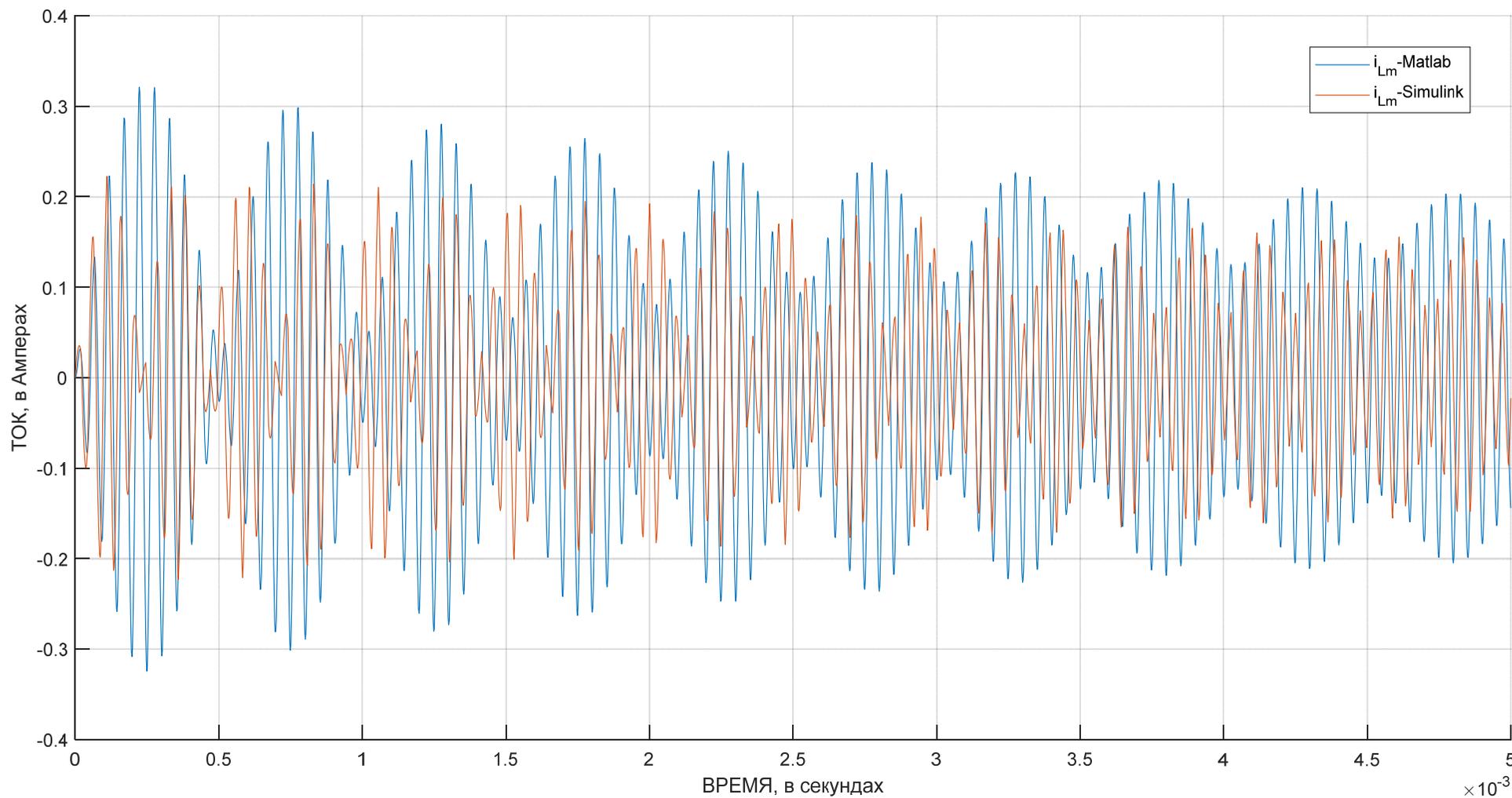


Рис. 4. Ток через индуктивность L_M механической части МП



Обсуждение результатов

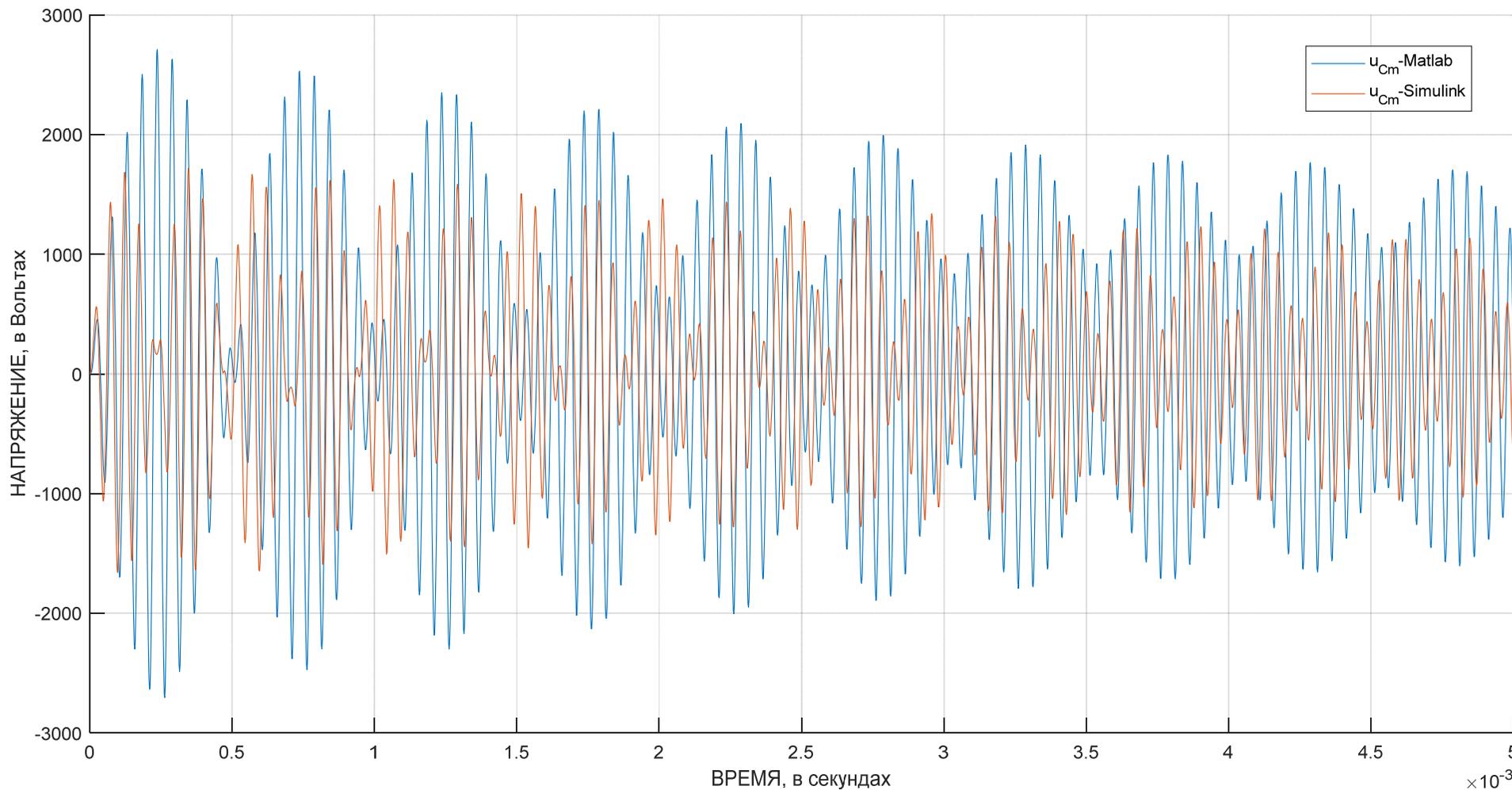


Рис. 5. Напряжение на конденсаторе C_M



Обсуждение результатов

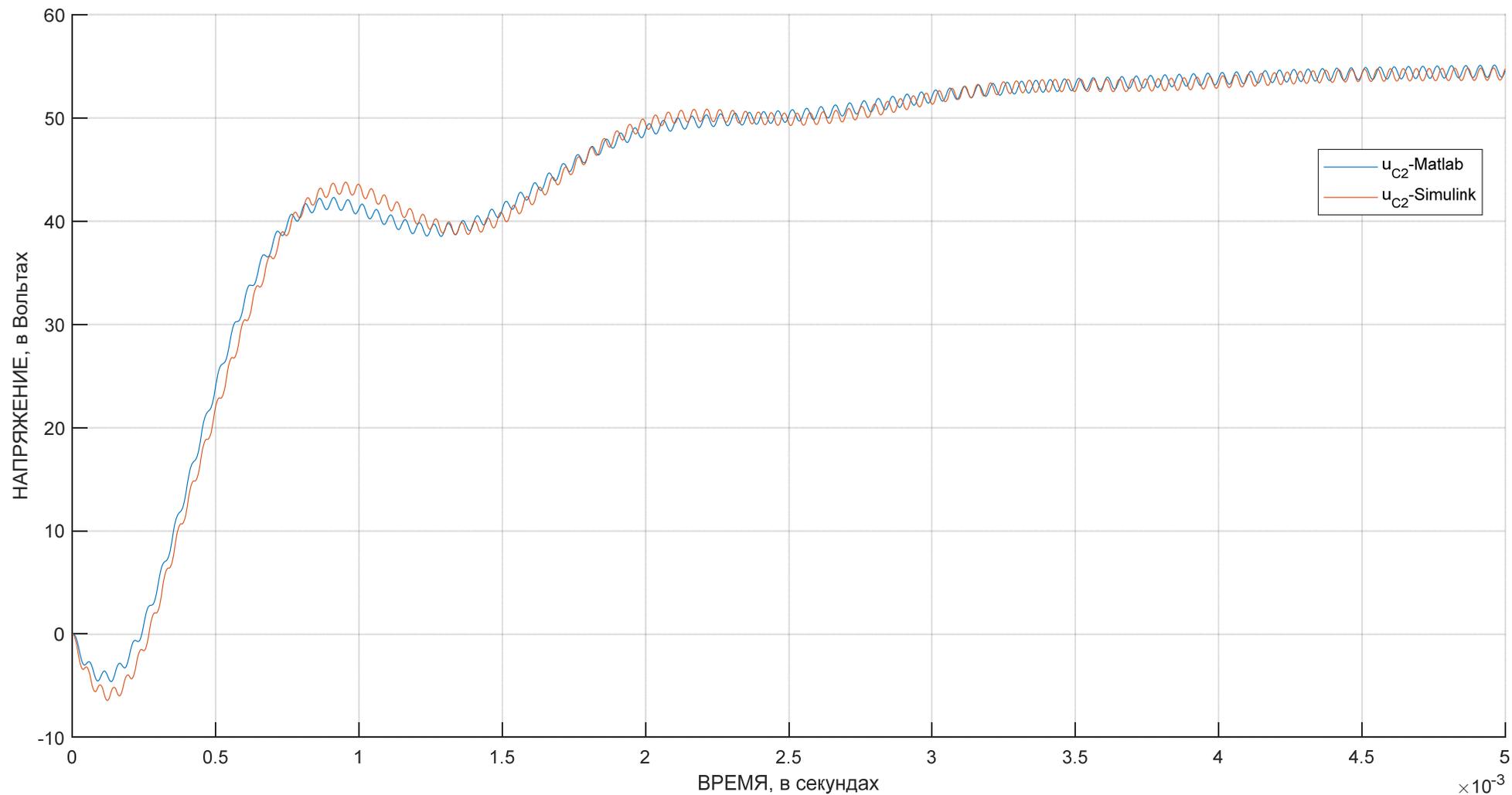


Рис. 5. Напряжение на конденсаторе C_2



Решение полученной математической модели в системе MatLab и виртуальной модели в пакете Simulink коррелируются с небольшой погрешностью. Из решения системы уравнений (1) видно, что использование для расчета входного синусоидального сигнала с периодом равным частоте переключения силовых ключей, хороший способ решения сложных систем, не разбивая при этом на интервалы непрерывности всю систему, соответственно и схемами замещения для каждого интервала можно пренебречь. Это сильно упрощает построение и математический расчет сложных силовых схем инверторов, как со встроенными блоками подмагничивания, так и без них.

Авторы:

Иритков Сергей Александрович

Начальник отдела технического контроля ООО "НПП "ДЖЕНЕРУС",

Янкевич Сергей Владимирович

Генеральный директор ООО "НПП "ДЖЕНЕРУС".



Контактная информация

Общество с ограниченной ответственностью "НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ "ДЖЕНЕРУС"

Юридический и почтовый адрес: Российская Федерация, 143913,
Московская область, г. Балашиха, ул. Летная, д. 5/5, пом. 36.

Адреса производств:

125363, г. Москва, ул. Героев-Панфиловцев, д. 10.

Телефоны: +7(499)842-42-59; +7(916)725-38-81.

E-mail: generus@bk.ru, generus@generussystem.ru

Сайт: <http://generussystem.ru>



Благодарим за
внимание



ПРЕЗЕНТАЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ

GENERUS

GENERUS