

*к.т.н., доц. Сафронов П.С.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

ПОСТРОЕНИЕ PSpICE-МОДЕЛИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МНОГОПУЛЬСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ СРЕДСТВАМИ САПР

Запропонована імітаційна PSpice-модель багатопульсного напівпровідникового перетворювача. Одержані часові діаграми фазних струмів при асиметрії міжфазного трансформатора. Отримані залежності коефіцієнтів гармонік вхідних струмів багатопульсного перетворювача від коефіцієнта асиметрії міжфазного трансформатора.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В настоящее время компьютерное моделирование получило широкое распространение при исследовании характеристик полупроводниковых преобразователей. Объясняется это тем, что при математическом моделировании возможно избавление от влияния внешних факторов, а также точное задание и варьирование в неограниченном диапазоне параметров цепей схемы преобразования. Имитационное компьютерное моделирование позволяет решать задачи анализа сложных преобразовательных систем, так как имитирует элементарные явления с сохранением логической структуры и временной последовательности. Это позволяет получать сведения о протекающих процессах в определенные моменты времени и оценивать характеристики исследуемого объекта [1, 2].

Анализ исследований и публикаций. В настоящее время одним из способов улучшения спектрального состава входных токов полупроводниковых преобразователей является применение преобразователей с повышенной пульсностью [2, 3].

Полупроводниковые преобразователи с межфазными трансформаторами позволяют формировать квазисинусоидальные входные токи. Причем степень приближения входных токов этих преобразователей к синусоидальной форме увеличивается с увеличением пульсности силовой схемы. Энергетические характеристики многопульсных преобразователей без учета разброса внутренних параметров межфазного трансформатора исследованы достаточно подробно. В настоящее время особый интерес представляет исследование характеристик многопульсных

преобразователей с учетом внутренней асимметрии межфазного трансформатора [4].

Постановка задачи. Задачей данной работы является разработка эффективной математической модели многопульсного преобразователя для анализа влияния внутренней асимметрии межфазного трансформатора на электромагнитную совместимость многопульсного преобразователя с сетью.

Изложение материала и полученные результаты. PSpice-модель была построена для многопульсного преобразователя, принципиальная схема которого приведена на рис. 1.

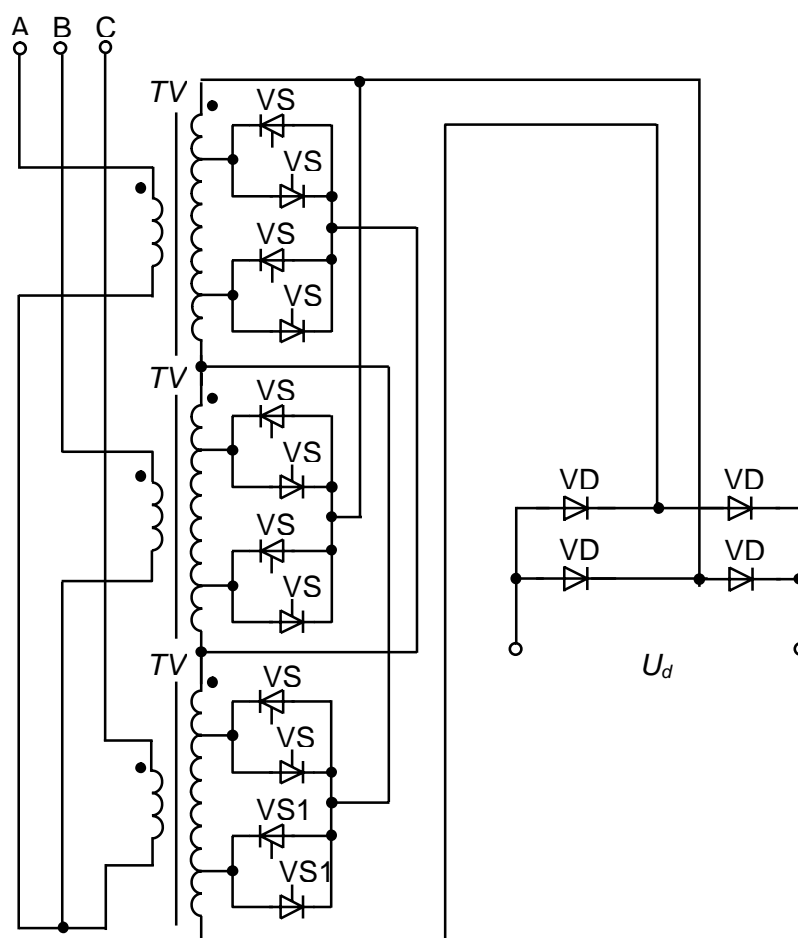


Рисунок 1 – Принципиальная схема многопульсного преобразователя

Первичные обмотки трансформаторов TV1–TV3 соединены в звезду и подключены к соответствующим фазам трехфазного источника питания. Вторичные обмотки соединены в разомкнутый треугольник. Питание нагрузки в приведенном преобразователе осуществляется через однофазный выпрямительный мост VD1–VD4, подключенный ко вторичным обмоткам трансформаторов TV1–TV3. Для управления вторич-

ные обмотки имеют дополнительные выводы. Каждый вывод через двунаправленный ключ (два встречно-параллельно соединенных тиристора) подключен к общей точке соединения двух других вторичных обмоток. Трансформаторы TV1 – TV3 можно рассматривать как преобразователь числа фаз трехфазной системы напряжений в m2-фазную. В ходе работы отпирание очередного тиристора соответствует закорачиванию соответствующего выходного фазного напряжения трансформаторного преобразователя числа фаз. Модель вентильного коммутатора представлена в виде моделей тиристоров с соответствующими сигналами управления:

X_S1	N15567	0	N08874	N09003	VS1_S1
X_S2	N21931	0	N09003	N08874	VS1_S2
X_S3	N17420	0	N09179	N09003	VS1_S3
X_S4	N22211	0	N09003	N09179	VS1_S4
X_S5	N19630	0	N09520	N09484	VS1_S5
X_S6	N24632	0	N09484	N09520	VS1_S6
X_S7	N21509	0	N09416	N09484	VS1_S7
X_S8	N25119	0	N09484	N09416	VS1_S8
X_S9	N23237	0	N10497	N10425	VS1_S9
X_S10	N17902	0	N10425	N10497	VS1_S10
X_S11	N24280	0	N10569	N10425	VS1_S11
X_S12	N18852	0	N10425	N10569	VS1_S12
V_Vp1	N17420	0	PULSE	0 1 0 100n 100n 1.667m 0.02	
V_Vp2	N17902	0	PULSE	0 1 1.667m 100n 100n 1.667m 0.02	
V_Vp3	N18852	0	PULSE	0 1 3.333m 100n 100n 1.667m 0.02	
V_Vp4	N19630	0	PULSE	0 1 5m 100n 100n 1.667m 0.02	
V_Vp5	N21509	0	PULSE	0 1 6.667m 100n 100n 1.667m 0.02	
V_Vp6	N21931	0	PULSE	0 1 8.333m 100n 100n 1.667m 0.02	
V_Vp7	N22211	0	PULSE	0 1 10m 100n 100n 1.667m 0.02	
V_Vp8	N23237	0	PULSE	0 1 11.667m 100n 100n 1.667m 0.02	
V_Vp9	N24280	0	PULSE	0 1 13.333m 100n 100n 1.667m 0.02	
V_Vp10	N24632	0	PULSE	0 1 15m 100n 100n 1.667m 0.02	
V_Vp11	N25119	0	PULSE	0 1 16.667m 100n 100n 1.667m 0.02	
V_Vp12	N15567	0	PULSE	0 1 18.333m 100n 100n 1.667m 0.02	

В случае, когда межфазный трансформатор является идеальным (индуктивность намагничивания стремится к бесконечности), коэффициент несинусоидальности входного тока зависит только от пульсности схемы, регулировочная характеристика зависит только от алгоритма управления вентилями и характера нагрузки. Фазовый сдвиг входного тока, являющийся одной из определяющих коэффициента мощности преобразователя, зависит только от углов управления вентилями. Однако на практике увеличение индуктивности намагничивания межфазного

трансформатора приводит к увеличению его массогабаритных и стоимостных показателей. Поэтому возникает необходимость в оценке влияния параметров межфазного трансформатора на энергетические показатели многопульсных преобразователей с управляемым межфазным энергообменом.

Коэффициент связи между обмотками определяется

$$K = \frac{M}{\sqrt{L1 \cdot L2}}, \quad (1)$$

где M – взаимная индуктивность обмоток.

Принимаем, что индуктивности первичных обмоток трансформатора и коэффициенты связи обмоток трансформаторов равны между собой, а индуктивности вторичных обмоток связаны постоянным коэффициентом c (отношением чисел витков вторичных обмоток)

$$L2 = \frac{L1}{\left(\frac{w2}{w3}\right)^2} = \frac{L1}{c^2}, \quad (2)$$

где $w2$, $w3$ – числа витков вторичных обмоток межфазного трансформатора.

Модель межфазного трансформатора построена на основе введения трех независимых электромагнитных связей между соответствующими обмотками:

L_L1	N41530 N07015	500mH
L_L2	N09484 N08874	3.591H
L_L3	N09179 N08874	26.791H
L_L4	N10425 N09179	3.591H
L_L5	N41561 N07015	500mH
L_L6	N10425 N09520	3.591H
L_L7	N09416 N09520	26.791H
L_L8	N09003 N09416	3.591H
L_L9	N41358 N07015	500mH
L_L10	N09003 N10497	3.591H
L_L11	N10569 N10497	26.791H
L_L12	0 N10569	3.591H
Kn_K2	L_L5 L_L6 L_L7 L_L8	0.99
Kn_K1	L_L1 L_L2 L_L3 L_L4	0.99
Kn_K3	L_L9 L_L10 L_L11 L_L12	0.99

Фазные э.д.с. симметрично сдвинуты друг относительно друга. Для моделирования напряжение питания преобразователя использованы три источника синусоидального напряжения:

```

V_V1      N07091 0 SIN 0 311 50 0 0 0
V_V2      N06955 0 SIN 0 311 50 0 0 120
V_V3      N10697 0 SIN 0 311 50 0 0 240

```

Выходной выпрямительный мост представлен с помощью моделей идеальных диодов:

```

D_D1      N11981 0 Dbreak
D_D2      0 N11954 Dbreak
D_D3      N11981 N09484 Dbreak
D_D4      N09484 N11954 Dbreak

```

Предложенная PSpice-модель была использована при исследовании преобразователя в системе OrCAD 9.2. В результате компьютерного моделирования были получены временные диаграммы входных токов при асимметрии межфазного трансформатора, одна из которых представлена на рис. 2.

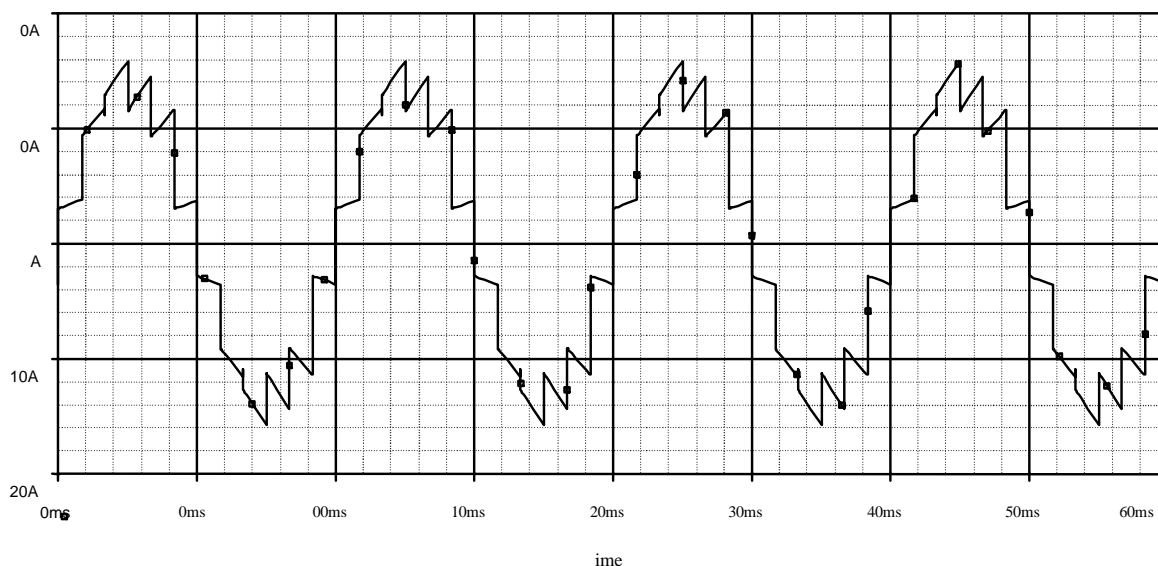


Рисунок 2 – Диаграмма входного тока многопульсного преобразователя

С помощью встроенной функции гармонического анализа были получены зависимости коэффициентов гармоник входных токов от коэффициента асимметрии межфазного трансформатора, представленные на рис. 3.

Выводы и направление дальнейших исследований. Компьютерное моделирование многопульсного преобразователя с использованием предложенной PSpice-модели позволило оценить влияние асимметрии межфазного трансформатора на электромагнитную совместимость преобразователя с сетью питания.

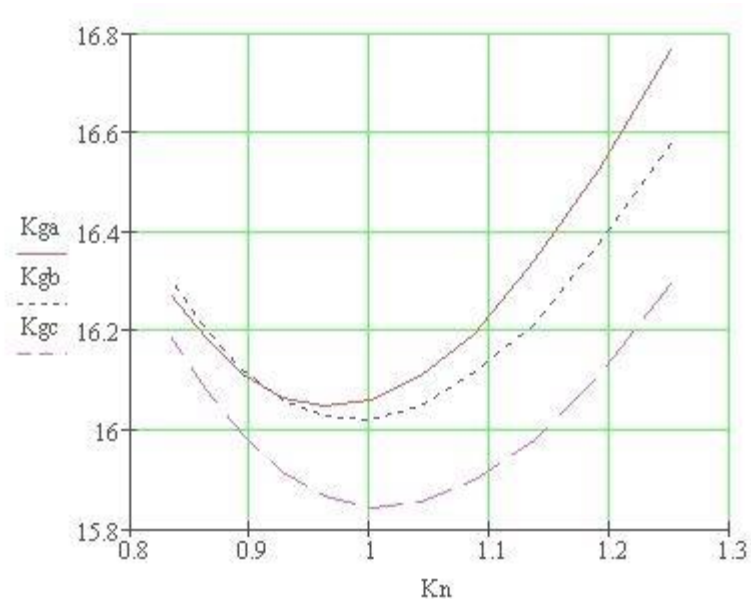


Рисунок 3 – Зависимости коэффициентов гармоник фазных токов от коэффициента асимметрии межфазного трансформатора

Дальнейшие исследования следует направить на моделирование коммутационных процессов в преобразователе и изучение их влияния на электромагнитную совместимость многопульсного преобразователя с сетью питания.

Предложена имитационная PSpice-модель многопульсного полупроводникового преобразователя. Получены временные диаграммы фазных токов при асимметрии межфазного трансформатора. Получены зависимости коэффициентов гармоник входных токов многопульсного преобразователя от коэффициента асимметрии межфазного трансформатора.

The simulation PSpice-model of pulse-step semiconductor converter is offered. The dynamic diagrams of phase currents at asymmetry of interphase transformer are got. Dependences of total harmonic distortion of input currents of pulse-step converter by the coefficient of asymmetry of interphase transformer are resulted.

Бібліографічний список.

1. Макаренко М.П. Особливості математичного забезпечення системного моделювання електромагнітних процесів у напівпровідникових перетворювачах електроенергії умовними рівняннями // Технічна електродинаміка. – К., 2004. – № 4. – С. 11-15.

2. Алтунин Б.Ю. Структурное моделирование многофазных регулируемых преобразовательных агрегатов // *Технічна електродинаміка*. – К., 2000. – Тем. вип. Проблеми сучасної електротехніки, ч.7 – С. 37-40.

3. Паэранд Ю.Э., Сафронов П.С. Моделирование асимметричного режима работы многопульсной преобразовательной системы с межфазной трансформаторной связью // *Вісник Черкаського державного технологічного університету* – Черкаси, 2007. – Спецвипуск. – С. 138-140.

4. Сафронов П.С., Паэранд Ю.Э. Влияние асимметрии напряжения сети на форму входных токов полупроводникового преобразователя с межфазным трансформатором // *Технічна електродинаміка*. – К., 2007. – Тем. вип. Силова електроніка та енергоефективність, ч. 5. – С. 19-22.