

COMPARATIVE ANALYSIS OF CLOSED CONTROL SYSTEMS BASED ON PI CONTROL AND FUZZY LOGIC FOR LLC CONVERTER

Marych Ю.В.

студент II-курса магистратуры
КПИ им. И.Сикорского

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЗАМКНУТЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПИ МЕТОДА РЕГУЛИРОВАНИЯ И НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ LLC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Summary. In this article the principles of operation of closed-type control systems based on PID controller and fuzzy logic for control of LLC converters are considered. These control methods provide stability and good control. Simulation is performed on MATLAB.

Аннотация. В данной работе рассматриваются принципы работы систем управления замкнутого типа на основе ПИД регулятора и нечеткой логики для управления LLC преобразователем. Данные методы управления обеспечивают стабильность и хороший контроль. Моделирование проводится на основе MATLAB.

1. Введение

С ростом электропотребления, растут требования к качеству поставки и преобразования электрической энергии, что побуждает постоянное совершенствования соответствующих электронных систем. Среди блоков питания коммутационного типа резонансные преобразователи получают большой интерес за счет работы на диапазоне высоких частот с низкими коммутационными потерями [1], среди которых резонансный преобразователь LLC (SPRC), обладающий преимуществами сразу двух преобразователей: последовательного (SRC) и параллельного (PRC) [2].

Последовательно-параллельный резонансный преобразователь (SPRC) может работать в широком диапазоне нагрузки, сохраняя при этом высокий КПД, по сравнению с последовательным резонансным преобразователем (SRC) [3], параллельным резонансным преобразователем (PRC). Топология LLC позволяет обеспечить работу преобразователя с высокой точностью выходного напряжения/тока и высокой эффективностью при небольших размерах [4-7].

LLC резонансный преобразователь применяется для различных приложений, таких как SMPS [8], телекоммуникации [9] и для регулируемого источника тока широкого диапазона [8].

2. Система управления на основе ПИ регулятора (PID)

PID-контроллеры - это, пожалуй, наиболее часто используемые структуры контроллеров в промышленности. Однако они представляют определенные проблемы перед инженерами приборостроения с точки зрения настройки

коэффициентов усиления, необходимых для стабильности работы устройства переходных процессов.

Стандартный PID-контроллер, функция передачи которого представляет собой сумму трех составляющих пропорциональную, интегрирующую и дифференциальную, как правило, записывается в параллельной форме или идеальной форме:

$$G(s) = K_p + \frac{K_I}{S} + K_D S$$

$$G(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_I S} + T_D S \right)$$

Пропорциональная составляющая в контроллере, как правило, помогает установить систему и улучшить реакцию замкнутого контура. Это общее управляющее действие, пропорционально сигнала ошибки через коэффициент усиления. Дифференцирующая составляющая часто используется, когда необходимо еще больше усовершенствовать скорость отклика в закрытом цикле. Интегральная составляющая - уменьшает конечное отклонение системы (стационарную погрешность) от заранее заданного эталонного значения, через низкочастотную компенсацию интегратором. Теоретически дифференциальная составляющая свидетельствует о скорости изменения измеряемой переменной контроллером. Ее значение улучшает переходную характеристику через компенсацию дифференциатором. Схематическое изображение данного регулятора приведены на рис. 1.

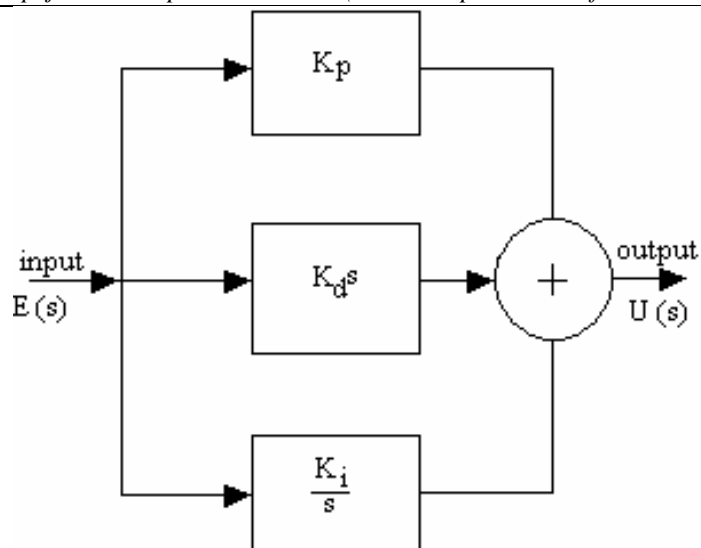


Рис. 1

Структурная схема пропорционально-интегрирующе-дифференциального контроллера для инвертирующего и выпрямительного звена преобразователя представлены на рис. 2 и рис. 3 соответственно.

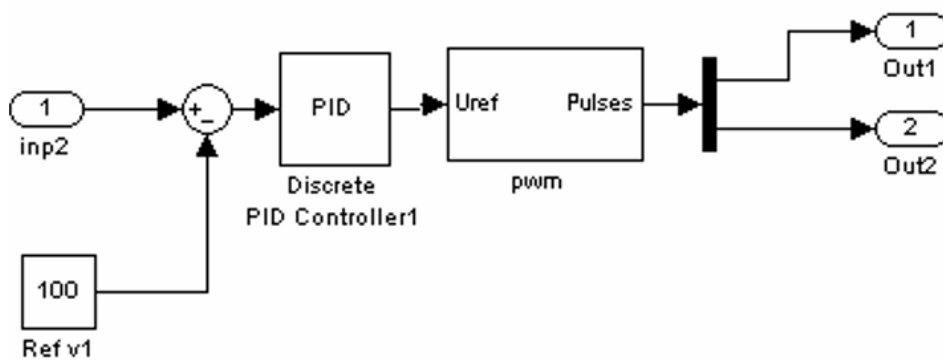


Рис. 2

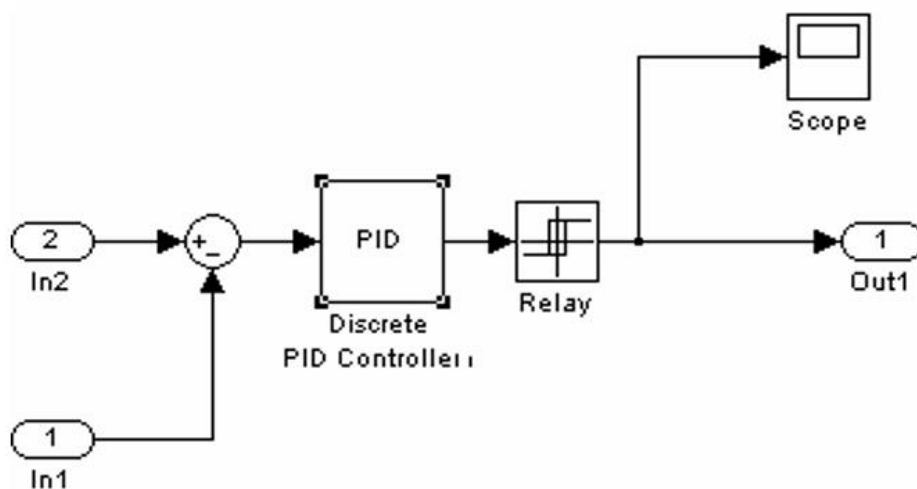


Рис. 3

Полная схема резонансного преобразователя с данной СУ изображена на рис. 8.

3. Система управления на основе нечеткой логики (Fuzzy)

Система нечеткой логики - это один из типов интеллектуальной системы, работа которой основана на лингвистическом языке и булевой логике. Нечеткая логическая структура управления зависит от четырех следующих блоков:

- Блок фазификация превращает четкие величины, измеренные на выходе объекта управления, в нечеткие величины, с помощью функций членства, описанных в базе знаний
- Блок решений использует нечеткие правила (if - then), заложенные в базе знаний, для

преобразования нечетких входных данных в необходимые управляющие воздействия, носят также нечеткий характер.

- Блок дефазификации превращает нечеткие данные с выхода блока решений в четкую величину, используемых для управления объектом.
- База знаний - набор правил обрамленные логическими операциями, которые связывают входные данные с их функциями членства. Членство функционирует из базы данных, используя нечеткие правила в нечетких наборах.

Типичный вид контроллера на базе нечеткой логики приведен на рис.4.

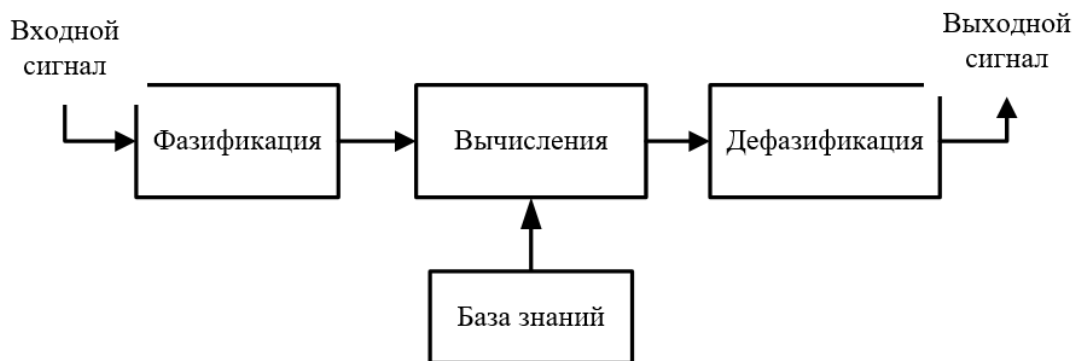


Рис. 4

В этой предлагаемой работе пять функций треугольного членства используется с 25 правилами при логических операций И. В конце дефузификации определяется четкий выход, а также генерируется импульсный сигнал к силовых

ключей полномостового инвертора. Базовая таблица нечетких правил показана в таблице 1, которая проста в использовании и понимании нечеткой логики.

Таблица 1

| | NB | NS | Z | PS | PB |
|----|----|----|----|----|----|
| NB | NB | NB | NB | NM | Z |
| NS | NB | NM | NS | Z | PM |
| Z | NB | NS | Z | PS | PB |
| PS | NM | Z | PS | PM | PB |
| PB | Z | PM | PB | PB | PB |

На рис. 5 представлена поверхность нечеткого регулятора. Поверхность показывает соотношение между входами и выходами в любой точке с

использованием метода дефазификации по центру области Z_{COA} .

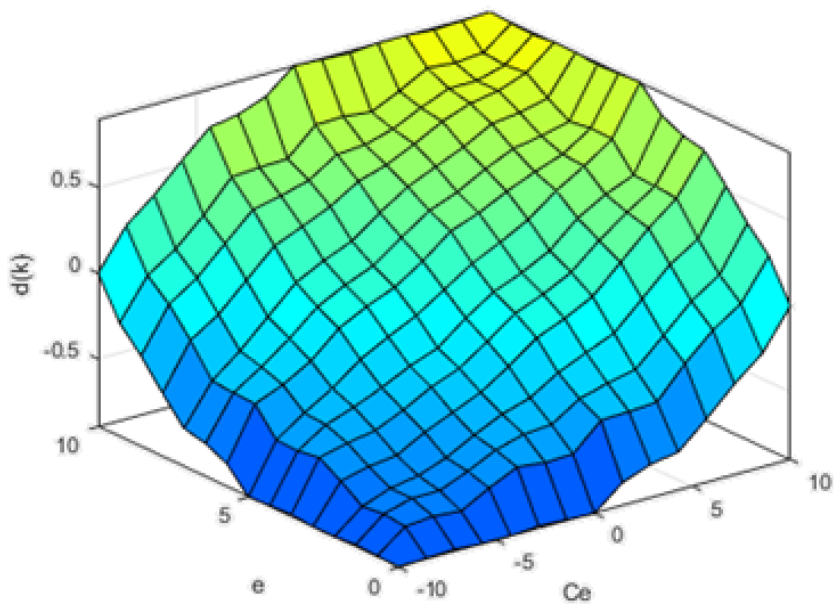


Рис. 5

Нечеткий контроллер-1 меняет индекс модуляции (MI) в соответствии с значением напряжения на нагрузке и опорного напряжения,

меня частоту коммутации ключей инвертирующего преобразователя на входе резонансного контура. Схема FLC контроллера представлена на рис 6:

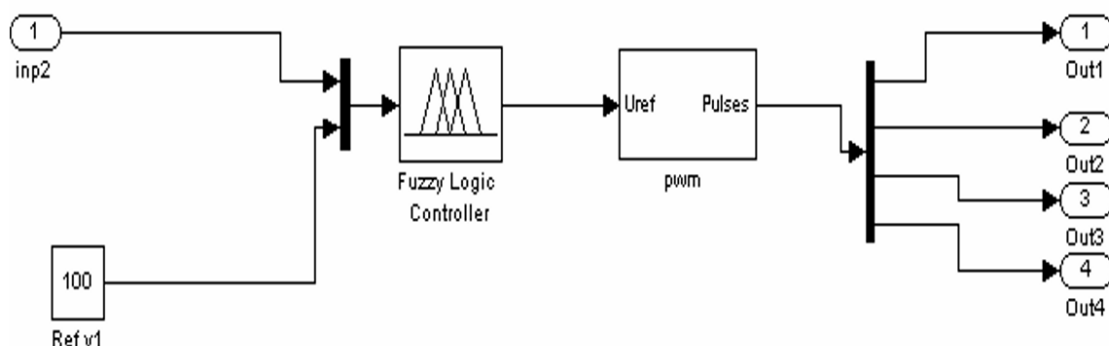


Рис. 6

Нечеткий контроллер-2 изменяет рабочий цикл выходного управляемого ключа в соответствии с выходного напряжения и опорного напряжения. тем самым регулирует выходное

напряжение. Строение FLC контроллера - 2 выходного звена преобразователя показана на рисунке 34.

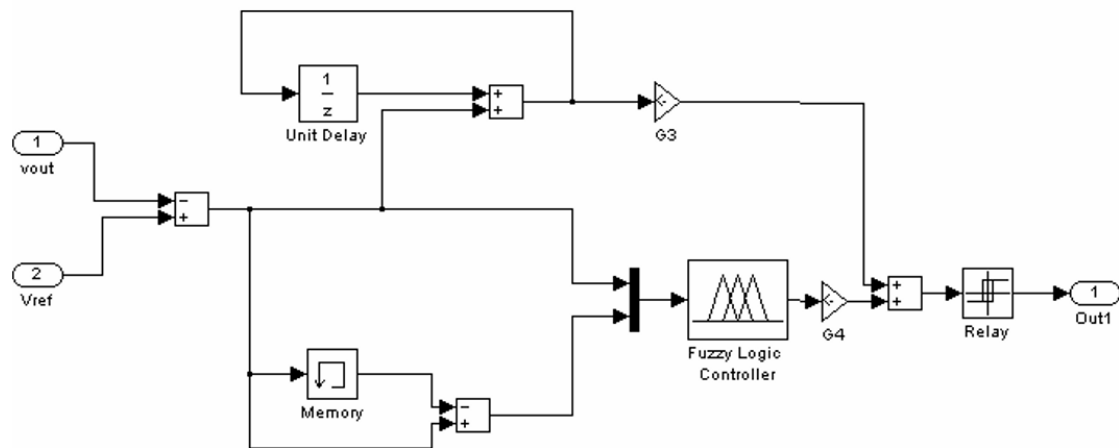


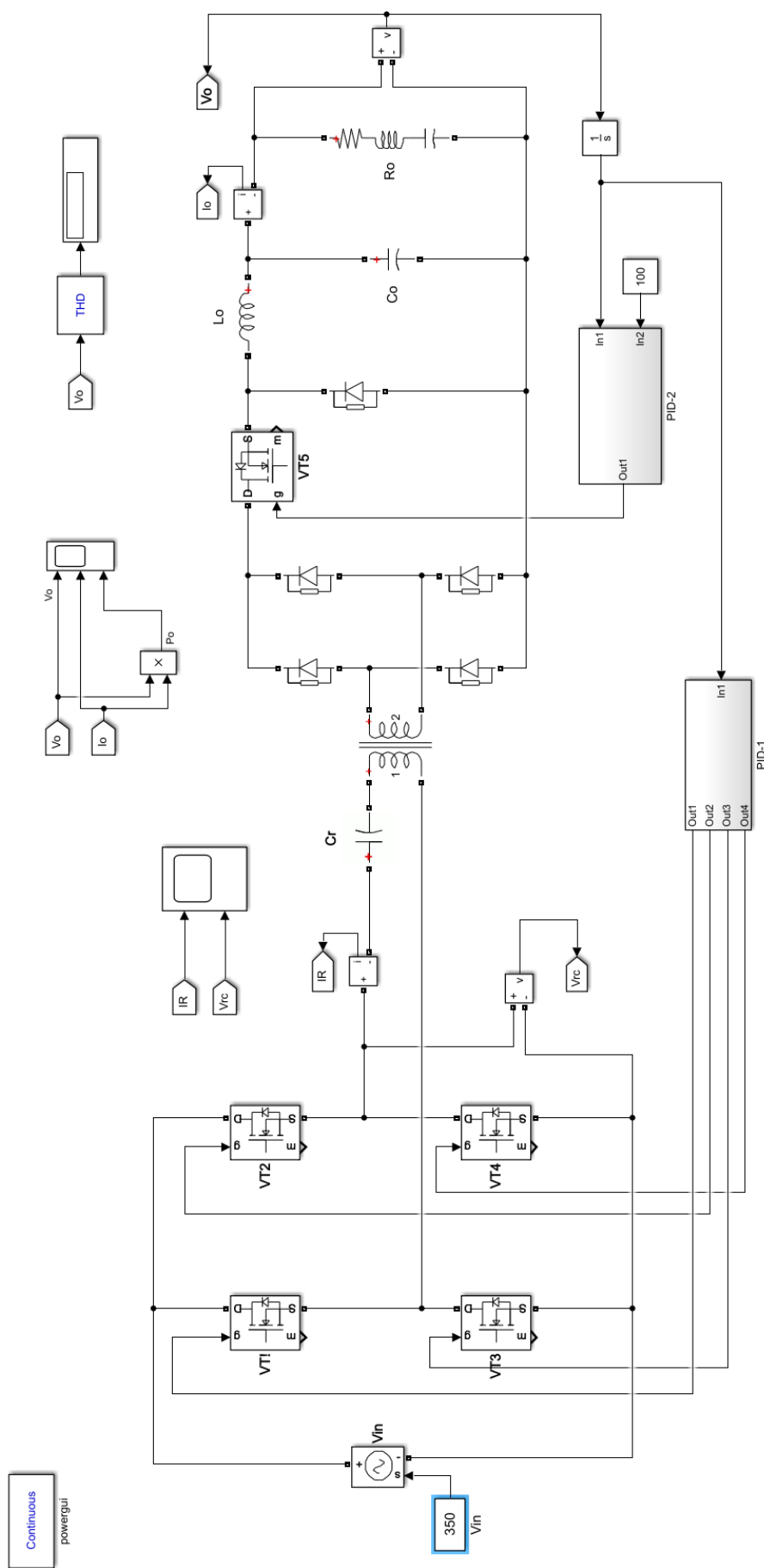
Рис. 7

Схема работы резонансный преобразователя с СК на основе нечеткой логики представлен в приложении. Полная схема резонансного преобразователя с данной СУ изображена на рис. 10.

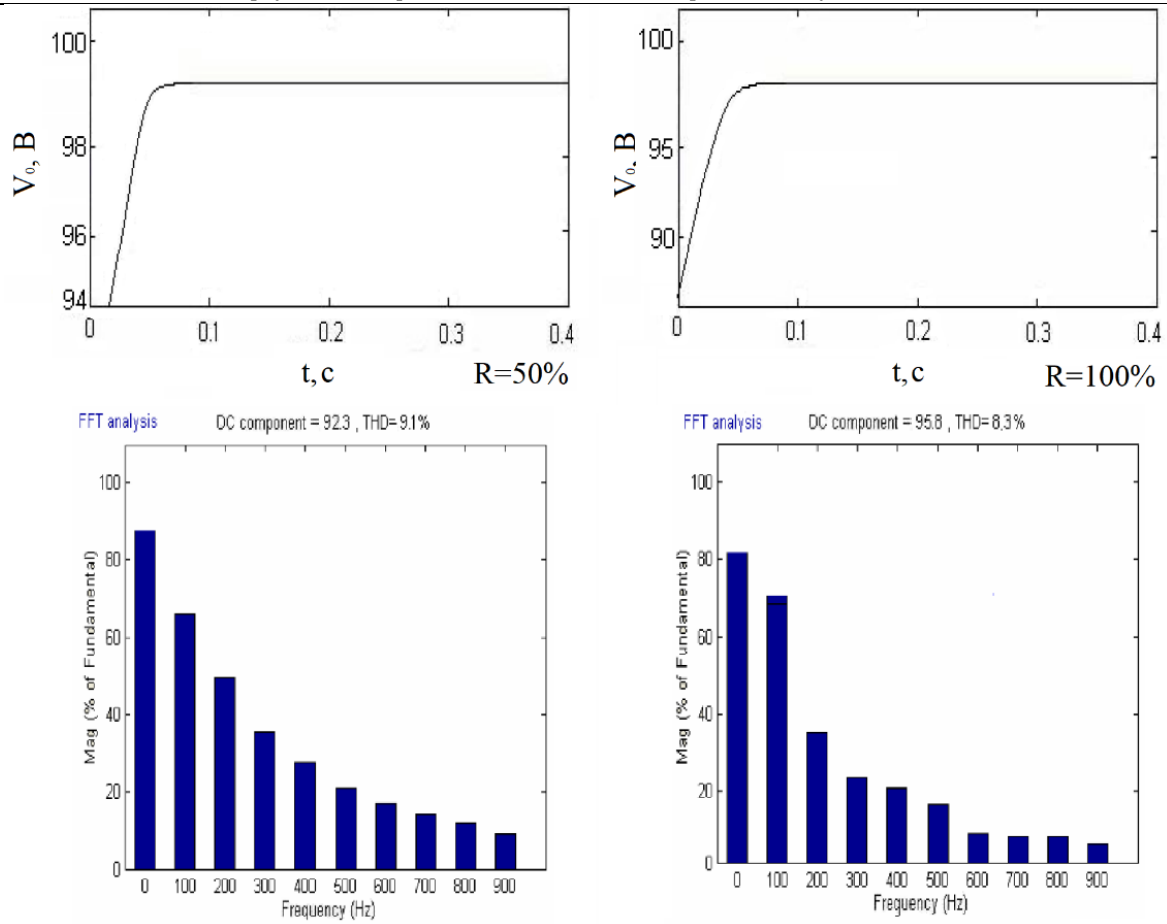
4. Итоги моделирования

Моделирование работы резонансного LLC преобразователя с двумя методами управления, было проведено в среде MATLAB/Simulink.

- ПИД-регулятор

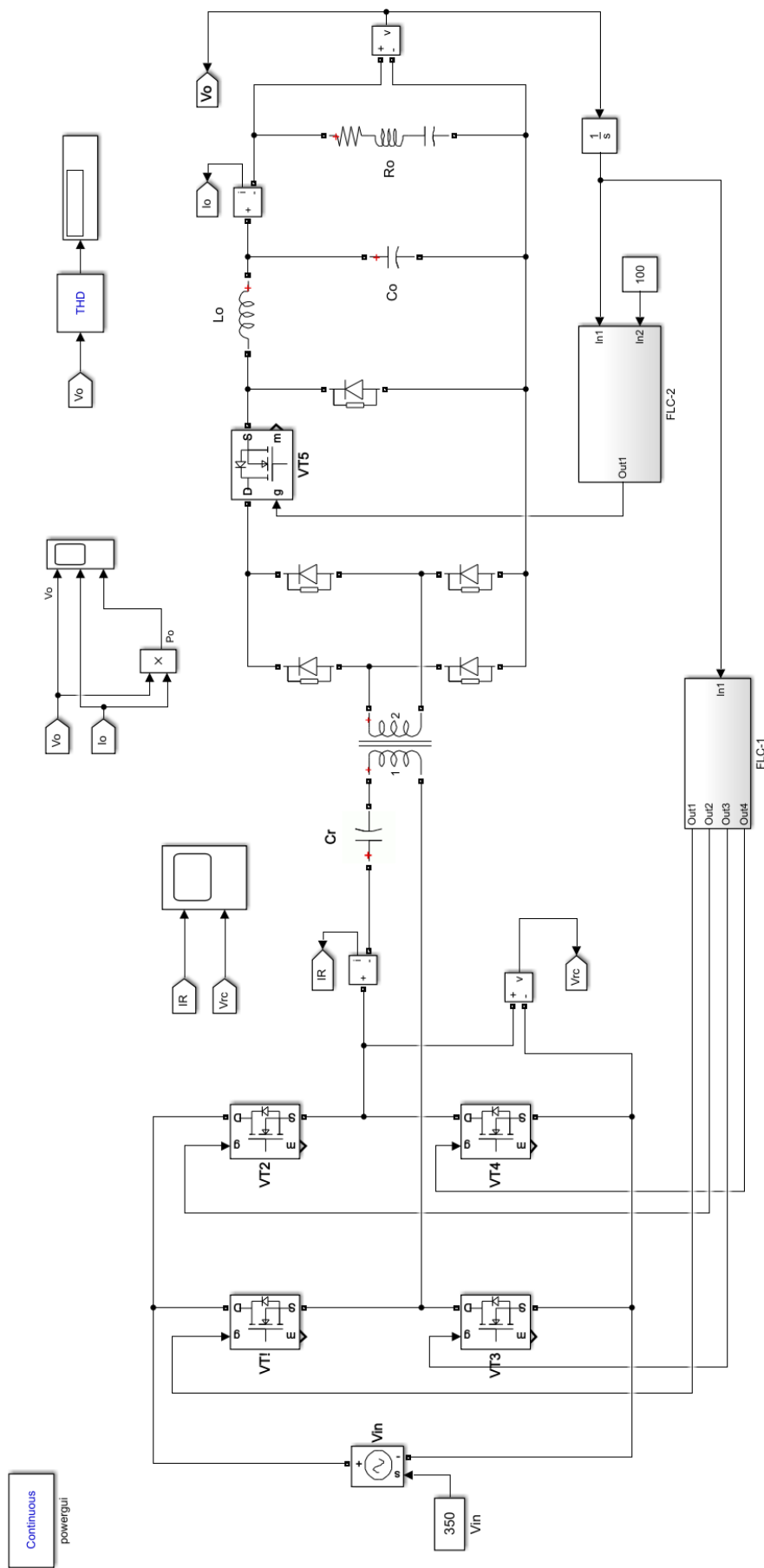


Puc. 8



Puc. 9

- FLC-контролер



Puc. 10

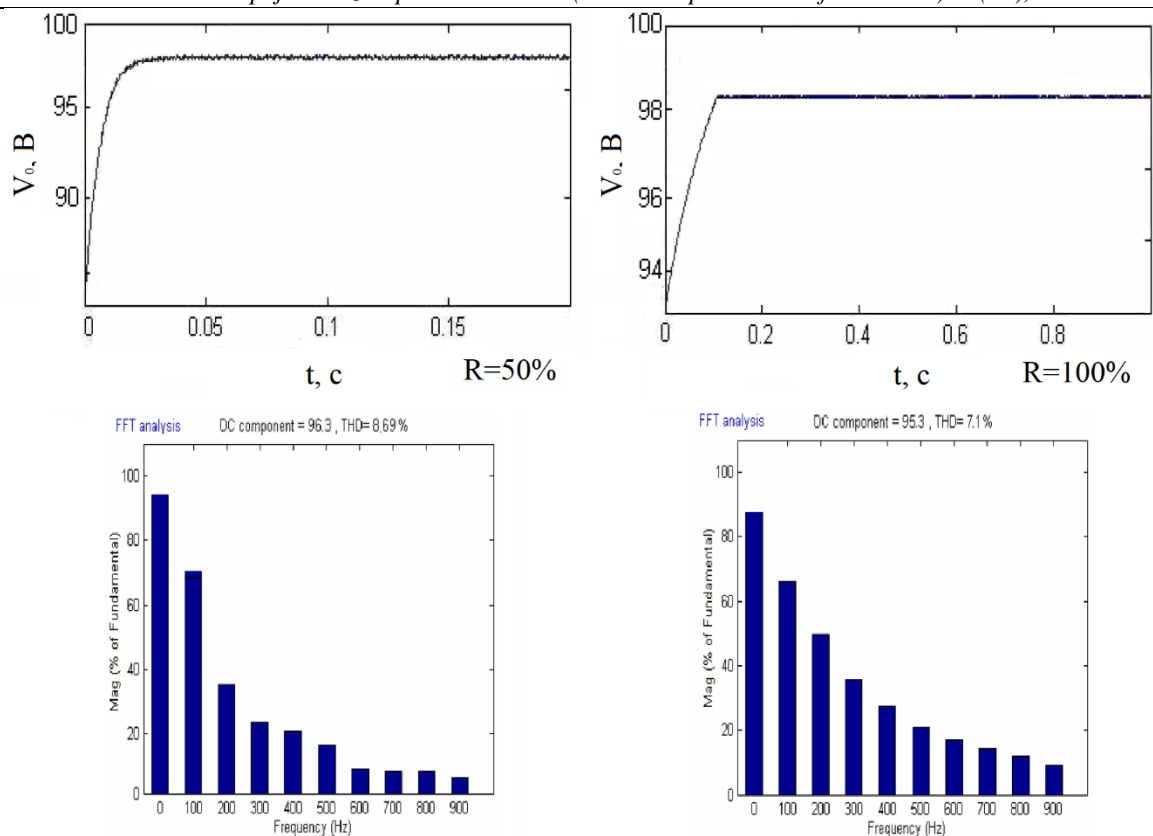


Рис. 11

На основе полученных моделирования при двух разных значениях выходного сопротивления (50% и 100% от номинального) составлены таблицы 2 и 3, отображающие основные параметры управления. Данные были

Таблица 2

| Тип управления | Время нарастания, с | | Время установки, с | | Перерегулирование, % | |
|----------------|---------------------|-----------------|--------------------|-----------------|----------------------|-----------------|
| | R_L (50%) | R_L (100%) | R_L (50%) | R_L (100%) | R_L (50%) | R_L (100%) |
| PID | 0.053 | 0.062 | 0.07 | 0.12 | 0.46 | 0.58 |
| Fuzzy | 0.03 | 0.064 | 0.05 | 0.1 | 0.5 | 0.47 |

Таблица 3

| Тип керування | Ошибка отклонения | | THD, % | |
|---------------|-------------------|-----------------|----------------|-----------------|
| | R_L (50%) | R_L (100%) | R_L (50%) | R_L (100%) |
| PID | 0.057 | 0.04 | 9.1 | 8.3 |
| Fuzzy | 0.016 | 0.015 | 8.69 | 7.1 |

5. Выводы

В этой работе было рассмотрено, разработаны и внедрены две различные структуры контроллеров (ПИД и нечеткие контроллеры) для LLC резонансных преобразователей. Эти контроллеры

смоделированы для обеспечения выбранного преобразователя с регулируемым выходным напряжением в условиях разного значения сопротивления нагрузки от номинального.

В ходе моделирования установлено, что схема управления на основе нечеткой логики в этой работе работает лучше, чем управление ПИД, что и ожидалось. Приведенные выше результаты свидетельствуют об обоснованности и целесообразности предлагаемых схем управления для различных нагрузочных резонансных преобразователей.

Литература

1. B. Yang, F. C. Lee, A. J. Zhang, and G. Huang, "LLC resonant converter for front end DC/DC conversion," in Proc. IEEE Appl. Power Electron. Conf. Expo., 2002, pp. 1108–1112.
2. N. Madhanakkumar, T. S. Sivakumaran, G. Irusapparajan, D. Sujitha, "Closed loop control of LLC resonant converter incorporating ZVS boost converter," in Int. Journal of Engg. and Tech., vol.6, no.2, pp. 0975-4024, May 2014.
3. B. Lu, W. Liu, Y. Liang, F. C. Lee, and J. D. van Wyk, "Optimal design methodology for LLC resonant converter," in Proc. IEEE Appl. Power Electron. Conf. Expo., Mar. 2006, vol. 2, p. 6.

4. T. Liu, Z. Zhou, A. Xiong, J. Zeng, and J. Ying, "A novel precise design method for LLC series resonant converter," in Proc. 28th Annu. Int. Telecomm. Energy Conf., 2006, pp.1-6.

5. C. Oeder, "Analysis and design of a low-profile LLC converter," in Proc. IEEE Int. Symp. Ind. Electron., Jul. 2010, pp. 3859–3864.

6. M. P. Foster, C. R. Gould, A. J. Gilbert, D. A. Stone, and C. M. Bingham, "Analysis of CLL voltage-output resonant converters using describing functions," IEEE Trans. Power Electron., vol. 23, no. 4, pp. 1772–1781, Jul. 2008.

7. X. Fang, H. Hu, J. Shen, and I. Batarseh, "Operation mode analysis and peak gain approximation of the LLC resonant converter," IEEE Trans. Power Electron., vol. 27, no. 4, pp. 1985–1995, Apr. 2012.

8. R. Beiranvand, B. Rashidian, M. R. Zolghadri, and S. M. H. Alavi, "Designing an adjustable wide range regulated current source," IEEE Trans. Power Electron., vol. 25, no. 1, pp. 197–208, Jan. 2010.

9. W.-Y. Choi, J.-M. Kwon, and B.-H. Kwon, "High-performance front-end rectifier system for telecommunication power supplies," Proc. Inst. Elect. Eng., vol. 153, no. 4, pp. 473–482, 2006.

Marych I.V.

*a second-year master's student,
KPI named Igor Sikorsky*

DESIGN OF A CONTROL SYSTEM BASED ON FUZZY LOGIC FOR LLC RESONANT CONVERTER

Марич Ю.В.

*студент II-курса магистратуры
КПИ им. И.Сикорского*

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ ДЛЯ РЕЗОНАНСНОГО LLC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Summary. In this article the principles of operation of closed-type control systems based on Mamdani and Sugeni fuzzy logic models for control of LLC converters are considered. These control methods provide stability and good control. Simulation is performed on MATLAB.

Аннотация. В данной работе рассматриваются принципы работы систем управления замкнутого типа на основе нечеткой логики двух разных моделей (Мамдани и Сугено) для управления LLC преобразователем. Данные методы управления обеспечивают стабильность и хороший контроль. Моделирование проводится на основе MATLAB.

1. Введение

Растущий спрос на более высокую плотность мощности и низкий профиль в конструкциях преобразователей питания заставляет разработчиков увеличивать частоты коммутации. Работа на высоких частотах значительно уменьшает размер пассивных компонентов, таких как трансформаторы и фильтры. Однако потери на переключение является препятствием для работы на высокой частоте. С целью их уменьшения были разработаны методы резонансной коммутации [1-7]. Эти методы обрабатывают мощность синусоидальным способом и позволяют реализовать «мягкую» коммутацию силовых

транзисторов. Поэтому потери на коммутацию и шум значительно ниже.

Возникает задача эффективного управления работы приведенных выше преобразователей напряжения. На сегодняшний день существует несколько основных методов управления: ПИД регулятор, регулятор на основе нечёткой логики (FLC) и нейронный регулятор. Преимуществом FLC является использование простого математического аппарата для работы со сложными нелинейными системами, высокая точность и скорость алгоритма.

2. Основы нечёткой логики

Нечёткая логика - это набор общепринятых (булевых) логик, расширенных для обработки