

АНАЛИЗ БАЗОВОЙ СХЕМЫ ФЕРРОРЕЗОНАНСНО-ТРАНЗИСТОРНЫХ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ СТАБИЛИЗАТОРОВ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ С ВСТРОЕННЫМ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ

А.А.Алимов, к.т.н., доцент кафедры «Электротехника»,
Ташкентского государственного технического университета
М.У.Идрисходжаева, Ташкентский государственный технический
университет, старший преподаватель кафедры «Электротехника»
Б.А.Газиев, Генеральный директор ООО «ABREST Energy Engineering»

Аннотация. В статье приводится анализа электроферромагнитной цепи, где нелинейная индуктивность обладает прямоугольной петлей гистерезиса (ППГ) использован метод кусочно-линейной аппроксимации характеристик. Для анализа электроферромагнитных цепей с нелинейной индуктивностью на основе разработанной ее аналитической модели, применены методы гармонического баланса и последовательных приближений.

Ключевые слова: нелинейная цепь, индуктивность, петля гистерезиса, электроферромагнитная цепь, аппроксимация, аналитическая модель, метод линейной сегментации, метод гармонического баланса, метод последовательного приближения.

Abstract. Method of piecewise–linear approximation of characteristic was used for electro ferromagnetic circuit analysis where non–linearity inductance has rectangular hysteresis loop. Describing function and successive approximation methods were used for analysis of electro ferromagnetic circuits with non–linearity inductance in terms of its developed analytical model.

Key words: nonlinear circuit, inductance, hysteresis loop, electroferromagnetic circuit, approximation, analytical model, linear segmentation method, harmonic balance method, successive approximation method.

Введение

Изучая литературу посвящённую исследованию и анализу ферро-резонансно-транзисторных параметрических стабилизаторов (ФТПС), обратили внимание, что такие вопросы, как исследование параметрических стабилизаторов с питанием от источника постоянного напряжения с выходом на переменном и постоянном токах, построенные на основе транзисторно-феррорезонансных устройств со встроенным управляющим функциональным преобразователем (ФП) с учетом динамических свойств нелинейной индуктивности с прямоугольной петлей гистерезиса исследованы недостаточно. Опыт показывает, что динамические свойства нелинейной индуктивности и законы изменения выходной частоты ФП во многом определяют точность, параметрическую надежность и обеспечивают режимы стабилизации тока и напряжения. Изучение влияния указанных параметров на характеристики базового ФТПС и является целью настоящей статьи.

Теоретическим и экспериментальным исследованиям базового

параметрического стабилизатора напряжения, построенного на основе электроферромагнитной цепи, так называемого феррорезонансно-полупроводникового стабилизаторах напряжения (ФПСН).

При анализе ФПСН использованы общепринятые допущения и аппроксимация петли гистерезиса с учетом динамической кривой размагничивания (ДКР) сердечников с учетом прямоугольности петли гистерезиса нелинейной индуктивности (НИ) (рис. 1).

$$\frac{dB}{d\tau} = \frac{\mu_3}{\pi} (H \pm H_c). \quad (1)$$

Приводятся системы уравнений, описывающие физические процессы в ФПСН и методика их решения с учетом принятой аппроксимации. В результате решения системы дифференциального уравнения получены выражения для электрических и магнитных величин.

После некоторых преобразований систем уравнений получено:

$$LC\omega s \frac{d^3 B}{dt^3} + \left(Lg_H \omega S + \frac{Le}{2f\omega\mu_3} \right) \frac{d^2 B}{dt^2} + \omega S \frac{dB}{dt} = u \quad (2)$$

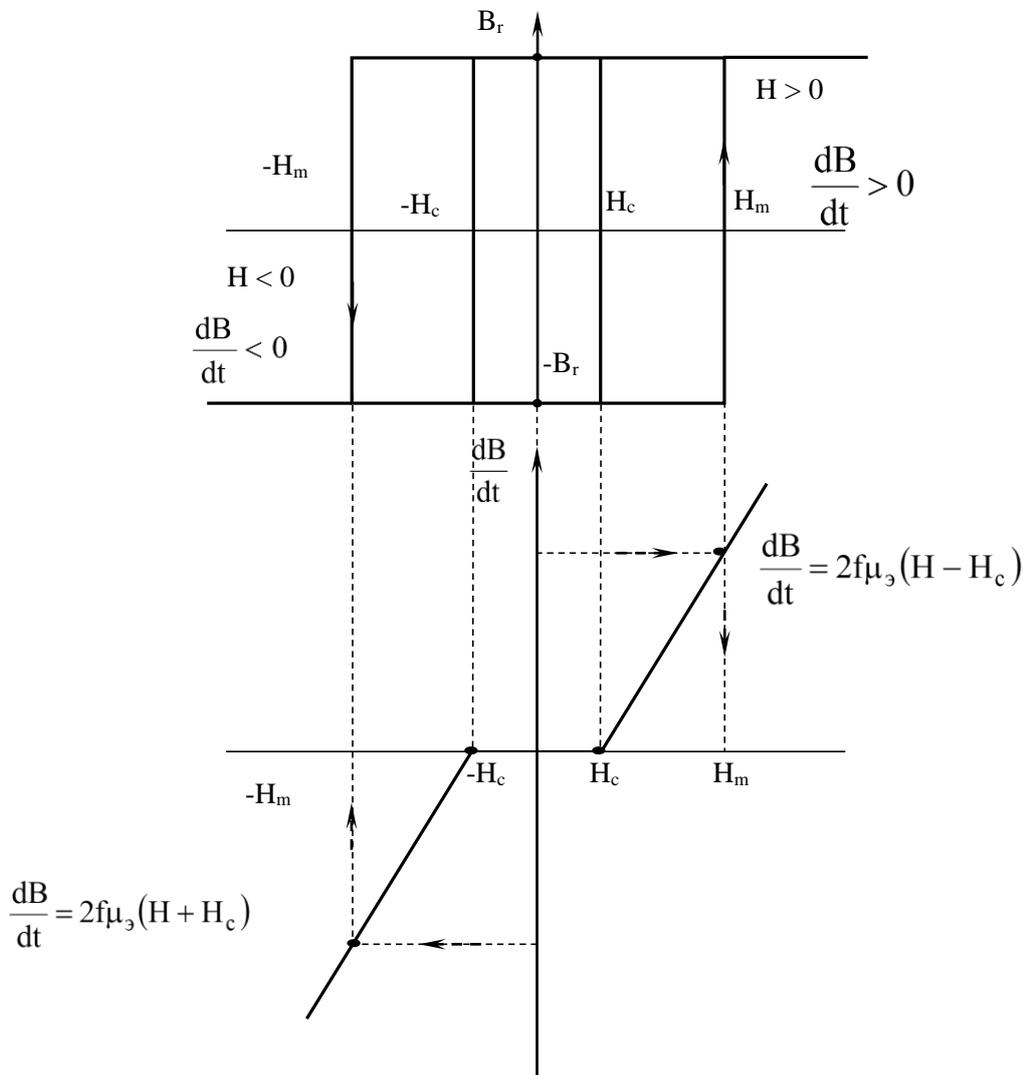


Рис. 1. Динамическая прямоугольная петля гистерезиса ферромагнитного материала

Среднее значение напряжения за полупериод равно:

$$U_{cp} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} u_H dt \quad (3)$$

Для интервала от $\omega t=0$ до $\omega t=\alpha$

$$\begin{aligned} U_{cp} &= 2fws \left(- \int_0^{\alpha/\omega} C_1 P_2 e^{-P_2 t} dt - \int_0^{\alpha/\omega} C_2 P_2 e^{-P_3 t} dt \right) + 2f \int_0^{\alpha/\omega} u dt = \\ &= 2fws \left[C_1 \left(e^{-P_2 \frac{\alpha}{\omega}} - 1 \right) + C_2 \left(e^{-P_3 \frac{\alpha}{\omega}} - 1 \right) \right] + \frac{U\alpha}{\pi} \end{aligned} \quad (4)$$

При условии, когда индукция изменяется по следующему закону:

$$B = B_{1m} \sin(\omega t + \psi_1) + B_{3m} \sin(3\omega t + \psi_3) + B_{5m} \sin(5\omega t + \psi_5) \quad (5)$$

когда

$$u = \frac{4U_m}{\pi} \left(\sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t \right) \quad (6)$$

На основе метода гармонического баланса получена следующая система алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} \frac{4U_m}{\pi} \sin \omega t + \left(B_{1m} \omega^2 L g_H w s + \frac{B_{1m} L e \omega^2}{2 f \mu_3 w} \right) \sin(\omega t + \psi_1) = 0 \\ \frac{4U_m}{3\pi} \sin 5\omega t + \left(9B_{3m} \omega^2 L g_H w s + \frac{9B_{3m} L e \omega^2}{2 f \mu_3 w} \right) \sin(3\omega t + \psi_3) = 0. \\ \frac{4U_m}{5\pi} \sin 5\omega t + \left(25B_{5m} \omega^2 L g_H w s + \frac{25B_{5m} L e \omega^2}{2 f \mu_3 w} \right) \sin(5\omega t + \psi_5) = 0 \\ (B_{1m} \omega w s - B_{1m} \omega^3 L s w C) \cos(\omega t + \psi_1) = 0 \\ (3B_{3m} \omega w s - 27B_{3m} \omega^3 L s w C) \cos(3\omega t + \psi_3) = 0. \\ (5B_{5m} \omega w s - 125B_{5m} \omega^3 L s w C) \cos(5\omega t + \psi_5) = 0 \end{cases} \quad (7)$$

Решая (7) систему уравнений мы находим выражения для начальных фаз и амплитуд гармоник магнитной индукции:

$$\psi_1 = \arctg \frac{\omega ws - \omega^2 Lcws}{\omega^2 Lg_H ws + \frac{Le\omega}{2f\mu_3 w}}$$

$$\psi_3 = \arctg \frac{3\omega ws - 9\omega^2 Lcws}{3\omega^2 Lg_H ws + \frac{3Le\omega}{2f\mu_3 w}} \quad (8)$$

$$\psi_5 = \arctg \frac{5\omega ws - 25\omega^2 Lcws}{5\omega^2 Lg_H ws + \frac{25Le\omega}{2f\mu_3 w}}$$

$$B_{1m} = \frac{4U_m/\pi}{\left(\omega^2 Lgws + \frac{Le\omega^2}{2f\mu_3 w}\right)\cos\psi_1 + (\omega ws - \omega^3 LCws)\sin\psi_1}$$

$$B_{3m} = \frac{4U_{3m}/3\pi}{\left(9\omega^2 Lgws + \frac{9Le\omega^2}{2f\mu_3 w}\right)\cos\psi_3 + (3\omega ws - 27\omega^3 LCws)\sin\psi_3} \quad (9)$$

$$B_{5m} = \frac{4U_{5m}/5\pi}{\left(25\omega^2 Lgws + \frac{25Le\omega^2}{2f\mu_3 w}\right)\cos\psi_5 + (5\omega ws - 125\omega^3 LCws)\sin\psi_5}.$$

Полученные выражения для начальных фаз и амплитуд гармоник магнитной индукции позволяют учесть влияние электрических, магнитных и геометрических параметров НИ на форму индукции, т.е. напряжения.

Выводы

Рассмотрен вопрос аппроксимации динамической петли гистерезиса прямоугольной формы нелинейной индуктивности для получения линейризованных результатов при анализе режима стабилизации напряжения электроферромагнитной цепи. Проведен анализ электроферромагнитной цепи стабилизации с питанием от источника переменного напряжения прямоугольной формы. На основе метода гармонического баланса получены аналитические выражения для первой, третьей и пятой гармоник магнитной индукции с учетом множества параметров нелинейной индукции. Получены аналитические выражения для начальных фаз первой, третьей и пятой гармоник с учетом множества электрических и магнитных параметров нелинейной индуктивности и других элементов параметрического стабилизатора.

Литература

1. Каримов А.С., Абдуллаев Б.А., Алимов А.А., Бегматов Ш.Э. Обобщенная модель нелинейной индуктивности. Известия высших учебных заведений «Энергетика», № 1. Минск. 1992 г. - с. 55-59.
2. Абдуллаев Б.А., Алимов А.А. Анализ феррорезонансно-полупроводникового стабилизатора напряжения с питанием от источника постоянного тока. Узбекский журнал проблемы информатики и энергетики, №

3, Ташкент. 2000 г. - с. 28-31.

3. Alimov, A. et al. (2021) 'Relationship between mains costs and voltage switches', E3S Web of Conferences, 289, p. 07035. doi:10.1051/e3sconf/202128907035.

4. Абдуллаев Б.А. Об эквивалентной электромагнитной емкости нелинейной индуктивности// Научно-технический производственный журнал «Горный вестник Узбекистана», №4, 2009. – С. 143-146.

5. Абдуллаев Б.А., Алимов А.А., Холбутаева Х.Э. Энергетические характеристики и эквивалентные параметры нелинейной индуктивности. «Управление, качество и эффективность использования энергоресурсов», 7-Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. - г. Благовещенск. 2013. – С. 130-131.

6. Абдуллаев Б, Холбутаева Х.Э., Идрисходжаева М.У. Магнитно-транзисторные параметрические стабилизаторы постоянного напряжения с повышенной энергосберегающей характеристикой. Москва, РФ, Ежемесячный научный журнал “Евразийский союз ученых” № 3, 2019.

7. Абидов К.Г. Повышение надежности работы мелиоративных насосных станций с применением самозапуска электродвигателей // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. -Москва, 2020 № 3 (189) март. С.34-38.

8. Абидов К.Г., Хамудханова Н.Б., Гафурова М.О. Влияния конструктивных параметров на энергосберегающие и эксплуатационные показатели работы водоподъемных насосных агрегатов // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. -Москва. №1, 2023. С.56-63.

9. Усманов Э.Г., Абдураимов Э.Х., Каримов Р.Ч. Оптоэлектронное бесконтактное реле напряжения // Агентство по интеллектуальной собственности РесУз. Патент на изобретение № IAP 05122. 29.10.2015.

10. Каримов И.Ч., Каримов Р.Ч. Электр таъминоти тизимларида контактсиз ускуналарнинг ишлатилиши // «Техника юлдузлари» журналы (ISSN: 1682-7686). Тошкент, 2017. - №4. – Б.53-56.

11. Бобожанов М.Қ., Расулов А.Н., Каримов Р.Ч., Саттаров Х.А. Электр таъминоти тизимида контактсиз кучланиш стабилизаторларини тадқиқ қилиш // «Муҳаммад ал-Хоразмий авлодлари» журналы (ISSN: 2181-9211). Тошкент, 2018. - №3(5). – Б.106-109.

12. Каримов Р.Ч., Рўзиназаров М.Р., Паноев А.Т. Электр таъминоти тизимида сигимли филтрли тўғрилагични таҳлил қилиш // «Фан ва технологиялар тараққиёти» илмий-техникавий журналы. Бухоро, 2017. - №1. – Б.22-27.

13. Каримов Р.Ч., Рафиқова Г.Р. Сигимли тўплагичлар энергиясини зарядловчи қурилмаларнинг параметрлари ва иш режимларини танлаш // «Фан ва технологиялар тараққиёти» илмий-техникавий журналы. Бухоро, 2016. - №1. – Б.9-19.

14. Суллийев А.Х., Каримов Р.Ч. Электр таъминоти тизимида оптодисторли контактсиз кучланиш релесини ишлатиш // «ТошТЙМИ ахбороти» журналы (ISSN: 2091-5365). Тошкент, 2018. - №4. – Б.149-154.

15. Бобожанов М.Қ., Каримов Р.Ч. Электр таъминоти тизимида

оптоэлектронли резистив занжирларни тадқиқ қилиш // «ТошДТУ хабарлари» журналі (ISSN: 1684-789X). Тошкент, 2017. - №4(101). – Б.53-57.

16. Расулов А.Н., Каримов Р.Ч., Абдураимов Э.Х., Рўзиназаров М.Р. Электр таъминоти тизимида транзисторли резистив занжирларни ишлатиш // «ТошДТУ хабарлари» журналі (ISSN: 1684-789X). Тошкент, 2015. - №3(92). – Б.108-113.

17. Абдураимов Э.Х., Расулов А.Н., Каримов Р.Ч., Рўзиназаров М.Р. Электр таъминоти тизимида куч тиристорларини бошқаришида оптоэлектронли резистив занжирларни ишлатиш // «ТошДТУ хабарлари» журналі (ISSN: 1684-789X). Тошкент, 2015. - №2(90). – Б.103-108.

18. Усманов Э.Г., Абдураимов Э.Х., Каримов Р.Ч. Использование бесконтактных реле для улучшения качества электроэнергии // Журнал «Вестник ТашГТУ» (ISSN: 1684-789X). Ташкент, 2013. - №3-4. – С.48-51.

19. Усманов Э.Г., Абдураимов Э.Х., Каримов Р.Ч., Авлакулов Х.П. Ночизикли электр занжирида динамик жараёнларнинг таҳлили // «ТошДТУ хабарлари» журналі (ISSN: 1684-789X). Тошкент, 2010. - №1-2. – Б.72-75.

20. Усманов Э.Г., Абдураимов Э.Х., Каримов Р.Ч. Нелинейная динамическая цепь с тиристором // Журнал «Проблемы информатики и энергетики». Ташкент, 2006. - № 2-3. – С.37-41.

21. Bobojanov M.K., Usmanov E.G., Abduraimov E.H., Karimov R.Ch. Resistive time delay switches // Scientific journal «European Science Review» (ISSN: 2310-5577). Vienna (Austria), 2018, January–February. №1-2. – PP.210-212.

22. Karimov R.Ch., Rasulov A.N., Meliqo'ziyev M.V., Almardonov O., Rafiqov M.Z. Analysis on diode electrical circuits // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. India. Issue 3, March 2019, - №6, – P.8294-8298.

23. Rasulov A.N., Karimov R.Ch. The Contactless Relay of Tension in System of Power Supply // Scientific journal « Eastern European» (ISSN: 2199-7977). Dusseldorf (Germany), Ausgabe. 2015. - №4. – PP.174-178.

24. Rasulov A.N., Karimov R.Ch. The Contactless Thyristor Device for Inclusion and Shutdown of Condenser Installations in System of Power Supply // Scientific journal «Eastern European» (ISSN: 2199-7977). Dusseldorf (Germany), Ausgabe. 2015. - №4. – PP.179-183.

25. Мухиддинов Ш.С., Абдураимов Э.Х., Каримов Р.Ч. Оптоэлектронные резистивные цепи // Сборнике материалов IV-международной научно-практической конференции «Наука и современное общество: взаимодействие и развитие». Россия, Уфа, 2017. Том 2. – С.72-75.

26. Каримов Р.Ч., Бобожанов М.К. Стабилизаторы напряжения на базе бесконтактных устройств. Монография. – Т.: ТГТУ, 2020, – Стр.113.

27. Karimov R.Ch. Kontaktsiz kommutatsiyalovchi qurilmalar asosida elektr energiya sifatini oshirish. Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) ilmiy darajasini olish uchun dissertatsiya ishi. – Т.: TDTU, 2019, – 113 bet.