



МЕТОДИКА ИНЖЕНЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ФЕРРОРЕЗОНАНСНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ.

Шайматов Б.Х., Рахматов Д.А

Бухарский инженерно-технологический институт
<https://doi.org/10.5281/zenodo.7896312>

Аннотация:

В данной статье рассматривается формирование низкочастотных токов в ферромагнитных колебательных контурах. Рассмотрены частоты гармоник амплитуды второго порядка мягкого возбуждения при параллельно и последовательном соединении многоконтурных феррорезонансных цепей. Из схем (рис.1) проанализирована, и учитывая промышленное применение преобразователей частоты, дает возможность для дальнейших исследований по производству преобразователей частоты.

Чтобы рассмотреть вопросы развития технических процессов возникшие субгармонические колебания (СГК) поддерживаются, при поступлении от источника более высокой частоты порций энергии периодического изменения параметра ферромагнитного элемента под воздействием источника с частотой в два раза большей частоты выходного напряжения. Для этого первичная обмотка предлагаемые трансформатора служит только для периодического изменения нелинейного параметра, которое совершается наиболее интенсивно, когда колебательные контур настроен на половинную частоту источника питания и создается наилучшая возможность для поддержания и усиления колебаний, возникших в контуре на частоте СГК и периодически покрывая активные потери, препятствующие нарастанию амплитуды СГК

Ключевые слова: система, последовательная, обмотка, магнитный поток, колебания, частота, гармоники, трансформатор, полупроводник, возбуждение, параметр, амплитуда, цепь, ток, автопараметрическое, напряжение, источник, контур, нелинейность, уравнение.

Проведенные исследования характеристик каналом нулевой последовательности (КНП) выявили изменения входного сопротивления канала и коэффициента передачи в зависимости от емкости сети, а также от типа ТН используемого при вводе сигнала в сеть. Эти условия, в свою очередь, определяют требования к мощности передающего устройства при его проектировании.

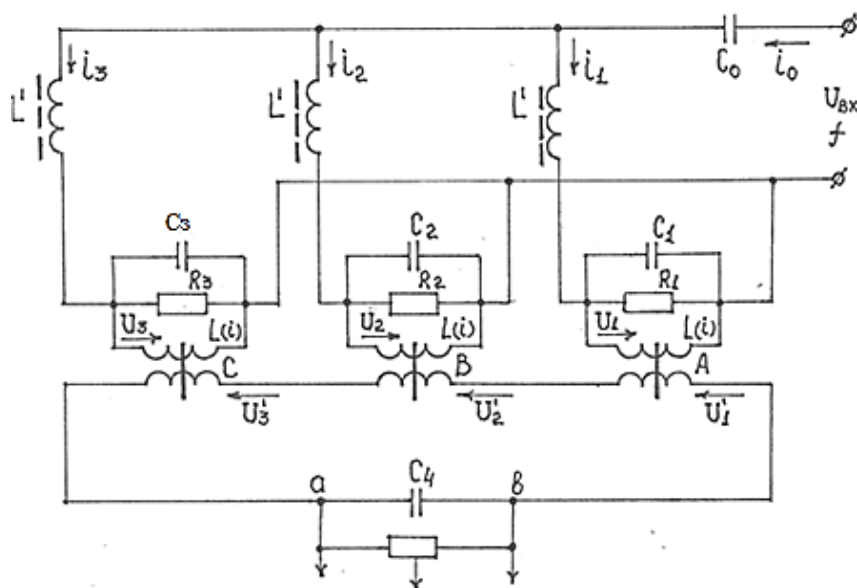


Рис-1

Поскольку минимальный уровень сигнала на приемной стороне канала определяется возможностями (чувствительностью) частотно-избирательной аппаратуры приемного устройства, то общая последовательность проектирования ФДЧ в качестве генератора сигналов в системе ТС может быть представлена в следующем виде:

- определение требуемой мощности феррорезонансных преобразователей частоты при заданной чувствительности U_c приемного устройства;
- выработка исходных данных для проектирования;
- расчет феррорезонансных преобразователей по заданным исходным данным и частоте сигнала.

Минимальную мощность феррорезонансного преобразователя можно представить в следующем виде:

$$P_1 = R_e \left\{ \frac{U_{1c}^2}{Z_{BX}} \right\}$$

Где, значения U_{1c} и Z_{BX} приведены к вторичным обмоткам ТН.

Если учесть, что $U_{1c} = U_c / K_1$, то можно получить:

$$P_1 = R_e \left\{ \frac{U_{1c}^2}{K_1^2 Z_{BX}} \right\}$$

Из математической модели для конкретной районной электрической сети (РЭС), в процессе разработки системы ТС, могут быть определены реальные значения коэффициента K и входного сопротивления Z_{BX} для рассматриваемой электрической сети. Таким образом, при известной чувствительности приемного устройства возможно определение необходимой мощности сигнала, вводимой в РЭС для обеспечения требуемого уровня напряжения U_c на приемном устройстве.

Исходными данными при проектировании ФДЧ являются:

- 1.Номинальные значения напряжения $U_{1ном}$ питания ФДЧ и предельные значения отклонений U_1 от номинального значения;
- 2.Кратность деления частоты;

3. Число фаз входного и выходного напряжений;
4. Номинальное значение выходного напряжения $U_{2ном}$;
5. Номинальная выходная мощность;
6. Коэффициент мощности нагрузки;
7. Предельные значения температуры окружающей среды;
8. Условия охлаждения;
9. Продолжительность включения.

Питание ФДЧ возможно от ТСН при наличии его на подстанции или со стороны низкого напряжения силовых трансформаторов напряжением 10/0,4 кВ. Поэтому при выборе номинального напряжения питания ФДЧ может быть рекомендовано напряжение 220 В.

Исследование трехконтурных феррорезонансных цепей показывает, что при изменении входного напряжения питания на +20%, выходные напряжения на частоте $16\frac{2}{3} Гц$ изменяются не более, чем на 5%. Таким образом, допустимые отклонения колебаний входного напряжения принимаем в пределах: 20%.

При проектировании ФДЧ существует два подхода к методике инженерного расчета, это расчет ферромагнитного делителя частоты с наименьшим весом и наименьшими габаритами.

Расчет ФДЧ по заданным исходным данным с наименьшими габаритами можно разбить на следующие этапы:

1. Выбор магнитного материала и конструкции магнитопровода;
2. Определение величины емкости батареи конденсаторов;
3. Вычисление основных размеров магнитопроводов, насыщающихся трансформаторов ФДЧ;
4. Определение числа витков обмоток;
5. Конструктивный расчет ФДЧ и определение веса обмоток;
6. Расчет потерь и КПД;

а) Выбор магнитного материала и конструкции магнитопровода.

При выборе материала для магнитопроводов, насыщающихся трансформаторов ФДЧ, следует учитывать такие факторы, как сложность изготовления, стоимость, влияние температуры на стабильность магнитных характеристик, а также величину удельных потерь на вихревые токи. Магнитопровод может быть броневой или стержневой конструкции и иметь пологую кривую намагничивания. Как правило, такие сердечники используются в дросселях, в качестве фильтрующих элементов.

б) Определение величины емкости батареи конденсаторов.

В связи с тем, что каждый из трех феррорезонансных контуров ФПЧ является идентичным, то емкость батареи конденсаторов для каждого из контуров определяют из следующего выражения:

$$C = \frac{S_H \cdot 10^9}{2\pi f_2 U_K^2} = \frac{250 \cdot 10^9}{2 \cdot 3,14 \cdot 16,3 \cdot 10^2} = 22_{мкФ}$$

Где, S - входная мощность преобразователя;

f_2 - частота на выходе;

U_K - аргумент комплексного сопротивления нагрузки;

$\tan \Psi_{\text{в}}$ - значение тангенса угла возбуждения равно 3: 3,8;

$U_{\text{к}}$ - напряжение на конденсаторе.

в)Вычисление основных размеров магнитопроводов насыщающихся трансформаторов ФДЧ.

Определяющим является марка стали, обеспечивающая небольшую зону существования АПК на искомой частоте. Мощность, условия охлаждения, тип конструкции и класс изоляции, как правило, являются определяющими при выборе электрических нагрузок ферромагнитного элемента. На основании вышесказанного, что ФДЧ следует рассматривать как преобразователь малой мощности и поэтому для его трансформаторов можно принять естественное воздушное охлаждение. Следовательно, сечение стержня может быть выполнено без охлаждающих каналов, т.е. прямоугольной формы.

Значение удельного теплового потока через боковую поверхность обмоток выбирается из выражения:

$$q = G \cdot \theta B_m / m^2,$$

Где, G - коэффициент теплоотдачи со всей наружной поверхности параметрического преобразователя частоты, равный 17-20 Вт/м² °С;

θ - заданное значение перегрева, °С.

Одним из основных размеров сердечника ФДЧ является его активное поперечное сечение, которое может быть выбрано по формуле:

$$Q_c = (3,8 - 4,2) \cdot \left[\frac{S_H \cdot q_0}{f \cdot B_{\text{мт}} K_1^{1,5} K_u q_c} \right]^{4/7} \cdot \left(\frac{\rho \cdot 10^{10}}{q_T} \right)^{2/7} \cdot 10^{-4}, \text{ см}^2;$$

Где, q_0 и q_c - удельный вес материала обмоток и сердечника, кг/м³;

q_T - среднее значение удельного теплового потока, Вт/м²;

ρ - удельное сопротивление обмоток, Ом. м;

K_1 - коэффициент конструкции равный двум для стержневого и единице для броневого сердечников;

$B_{\text{мт}}$ - амплитуда магнитной индукции в сердечнике равная 1.3 Тл для горячекатаной и 1.6 Тл для холоднокатаной стали;

f - частота питающей сети;

S - номинальная выходная мощность ФДЧ;

m - количество используемых сердечников;

K_u - коэффициент использования.

$$Q_c = (3,8 \div 4,2) \cdot 10^{-4} \left[\frac{250 \cdot 9}{0,2 \cdot 2^{15} \cdot 50 \cdot 1,9 \cdot 7,6} \right]^{4/7} \cdot \left(\frac{0,0214}{2000} \cdot 10^4 \right)^{2/7} = (5,3 \div 6,2) \text{ см}^2$$

Принимаем $Q_c = 6 \text{ см}^2$.

Ширина пластин сердечника

$$a_c = (0,85 \div 0,95) \sqrt{Q_c} = (0,85 \div 0,95) \sqrt{6} = (2,08 \div 2,32)$$

Принимаем $a_c = 2 \text{ см}$

Ширина пакета магнитопровода

$$b_c = \frac{Q_c}{a_c} = \frac{6}{2} \text{ см}$$

При оптимальном электромагнитном режиме значения этих коэффициентов использования должны находиться в следующих пределах $K_u = 0,7 \div 0,9$.

Оптимальным электромагнитным режимом следует считать режим, обеспечивающий наибольшую зону существования АПК.

Высота окна сердечника определяется из выражения:

$$h_c = (6 \div 7) a_c = (6 \div 7) \cdot 2 = (12 \div 14) \text{ см}$$

По полученным значениям основных размеров сердечника следует выбрать ближайшие к расчетным стандартные сердечника трансформаторов. Следует отметить, что как правило, для ФДЧ применяется сердечник стандартных трансформаторов малой мощности.

г) Определение числа витков обмоток.

При расчете обмоток ФДЧ следует учесть, что на каждом из трех насыщающихся трансформаторов находятся первичные и вторичные обмотки. При выборе магнитопровода стержневой конструкции одноступенчатые обмотки, расположенные на разных стержнях одного и того же магнитопровода, соединяются параллельно.

Таким образом, для числа витков первичной обмотки можно записать:

$$W_1 = \frac{U_1}{2,22 \cdot f \cdot B_{1m} Q_c \cdot m} = \frac{220 \cdot 10^4}{2,22 \cdot 50 \cdot 0,8 \cdot 6 \cdot 3} = 1376$$

Принимаем $W_1 = 1400$ витков,

где, U_1 - напряжение питания ФДЧ;

B_{1m} - амплитуда магнитной индукции в сердечниках, которая принимается 0,7-0,9 Тл;

m - число сердечников, равное трем;

Q_c - поперечное сечение сердечника для броневого конструкции при стержневой конструкции (значение Q_c в формулу подставляется в удвоенном виде).

Число витков вторичной обмотки W_2 определяется как:

$$W_2 = \frac{U_2}{U_1 K_{u1}} \cdot W_1 = \frac{110}{220 \cdot 0,9} \cdot 1400 = 777$$

Принимаем $W_2 = 780$ витков.

Для получения необходимого напряжения передаваемого сигнала, вводится дополнительная обмотка. Число витков дополнительной обмотки определяется из выражения:

$$W_g = \frac{U_k}{U_2} \cdot W_1 = \frac{7}{110} \cdot 1400 = 90$$

Ток в первичной обмотке будет равен

$$I_1 = 1,25 \cdot K_1 I_2 \frac{W_2}{W_1} = 1,25 \cdot (2 \div 3) \cdot 1,5 \cdot \frac{780}{1400} = 3,1 \text{ А}$$

Таким образом, исходя из вычисленных величин токов в обмотках и значений плоскостей тока, выбираются стандартные сечения проводов.

Конструктивный расчет ФДЧ и определение веса обмоток и сердечника следует производить в соответствии с рекомендациями, приведенными в [9].

д) Расчет потерь и КПД

Потери в магнитопроводе ФДЧ вычисляются по формуле

$$\Delta P_c = P_c \cdot G_c = (3,5 \div 4,5) \cdot 5 = (17,5 \div 22,5) \text{ Вт}$$

Где, P_c - удельные потери в стали, величина которых равна

$$(3,5 \div 4,5) \text{ Вт} / K_2$$

G_c - вес магнитопровода, Кг

Потери в обмотках для медной проволоки

$$\Delta P_M = 2,4 \Delta G_0^2 = 2,4 \cdot 3 \cdot 8 = 58 BT$$

Где, G_0 - вес соответствующей обмотки, кг;

Δ - плотность тока, А/м.

Суммарные потери мощности ферромагнитного делителя частоты определяются:

$$\sum \Delta P = \Delta P_C + \Delta P_M + \Delta P_\Sigma = 23 + 58 + 10 = 91 BT.$$

Коэффициент полезного действия ФДЧ будет равен:

$$\eta = \frac{S \cdot \cos \varphi_H}{S \cdot \cos \varphi_H + \sum \Delta P} = \frac{250 \cdot 0,9}{250 \cdot 0,9 + 91} = 0,71$$

References:

1. Горбарук В. И., Бладыко В.М., Мазуренко А. А. Преобразование однофазного переменного тока в трехфазный пониженной частоты. Изв. вузов, "Энергетика", № 2.1971.
2. Каримов А.С. Энергетические соотношения в цепях с автоколебательными процессами преобразования числа фаз и частоты переменного тока. Материалы научно-технической конференции. "Повышение эффективности устройств преобразовательной техники". Изд. "Наукова думка", ч. I, Киев, 1972.
3. Бурханходжаев А. М. Львов В.К. Методы расчета автопараметрических колебаний АПК в двухконтурной феррорезонансной цепи смещенного соединения. Сборник материалов по итогам научно-исследовательских работ энергетического факультета. ТашПИ, 1974.
4. Ибадуллаев М. Низшие и полигармонические колебания в многофазных цепях с электромагнитными колебательными контурами. Автореферат канд. диссерт., Ташкент, 1974.
5. Бладыко В.М., Горбарук В.Н., Бычков А.И. Аналитический расчет двухконтурной феррорезонансной схемы в режиме возбуждения второй субгармоники. ИВУЗ, "Энергетика" №5, 1975.
6. Горбарук В.И., Тищенко А.А. Исследование двухконтурной феррорезонансной цепи на аналоговой вычислительной машине. ИВУЗ, "Энергетика", №2, 1975.
7. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Т.2. Электромагнитное поле. М: Высшая школа 1984.
8. Андреев Ф.И. Теоретические основы электротехники. Уч.пос. Екатеринбург. 2003 г.
9. Шайматов Б.Х., Турдиев М.Т., Камалов У.У. Схемный анализ многоконтурных феррорезонансных цепей. Актуальные вопросы в области техники, совершенствование и развитие технологических систем. Ташкент, ТашПИ. 1991 г.-С.168.
10. Шайматов Б.Х. Каримов А.С. Товбаев А.Н. Оптимизация процесса преобразования электроэнергии в феррорезонансных цепях Фаргона политехника институты илмий-техник журналы., Фаргона, 2000й. №3.-С 72÷74
11. Шайматов Б.Х., Тураев А.С., Норов Ю.Д. Моделирование напряженного состояния массива при проведении траншеи методами фатопругости. Механика муаммолари. Ўзбекистон журналы., Тошкент, 2000 й. №3.-С. 86÷89

12. Шайматов Б.Х., Эргашев.Э., Анарбаев.С Защита группы электродвигателей от неполнофазного режима. Научно-технический и производственный журнал «Горный Вестник Узбекистана».Навои , 2004 г.№1.- С.46÷48
13. Шайматов Б.Х., Қаршибоев А. Повышение эффективности применения электроэнергии на открытых горных работах. Научно-технический и производственный журнал «Горный Вестник Узбекистана».Навои, 2006 г.№1.-С.84÷85.
14. Шайматов Б.Х., Исунс С.А., Каршибоев А. Методические принципы исследования электропотребления на горных предприятиях Научно-технический и производственный журнал «Горный Вестник Узбекистана».Навои, 2006г. №2.-С.95÷96.
15. Шайматов Б.Х., Саъдуллаев Н.Н., Холмуродов М. Электронный анализ экономии электро энергии в промышленности. Научно-технический и производственный журнал «Горный Вестник Узбекистана».Навои,2008г. №4.-С.69÷70.
16. Шайматов Б.Х., Қаршибоев А., Холмуродов М Прогнозирование электропотребление горных предприятий приразработки рудных месторождений. Научно-технический и производственный журнал «Горный Вестник Узбекистана». Навои ,2008г. №4.-С.71÷73.
17. Шайматов Б.Х., Саъдуллаев Н.Н., Холмуродов М.Б. Оптимизация параметров в системы внутривзаводского электроснабжения. Научно-технический и производственный журнал «Горный Вестник Узбекистана».Навои, 2009г. №4.-С.74-76.
18. Шайматов Б.Х., БобожановМ.Қ., Холмуродов М.Б.Энерго-и ресурсосбережение на предприятиях горно-металлургической отрасли. Научно-технический и производственный журнал «Горный Вестник Узбекистана».Навои, 2010г. №4.-С.89÷90.
19. Шайматов Б.Х., Таслимов А.Д., Холмуродов М.Б. Снижение потерь электроэнергии городских распределительных электрических сетей. Научно-технический и производственный журнал «Горный Вестник Узбекистана».Навои, 2011г. №4.-С.66
20. Шайматов Б.Х., Холмуродов М. Б., Гаффоров К. К. Комилов С. О. Эффективность применения феррорезонансных преобразователей частоты в электрических системах XXV Международной научно-практической конференции «EURASIASCIENCE».2019 г.
- 21 Шайматов Б.Х., Холмуродов М.Б. Определение количественных и качественных методов исследования феррорезонансных цепей. “Фан ва технологиялар тараққиёти” илмий-техникавий журнал. 2020 й.
22. Шайматов Б.Х., Rahmatov D , Kholmurodov M. ,Mukhtorov A., Rakhmatova M. Probe of process of multiple-loop chains of parallel and consecutive joints. E3S Web of Conferences 216, 01142 (2020) RSES 2020 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601142>
23. Шайматов Б.Х., M.Rakhmatova, S.Komilov, D. Qurbonova. The application of three-contour Ferreaseezones chain-based frequency transformers. CONMECHYDRO-2021 (International Scientific Conference Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering CONMECHYDRO-2021):<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-85108219769&partnerID=MN8TOARS>
24. Шайматов Б.Х., Рахматова М.У. Частота бўлаклагичлар асосида мелиоратив электр тармоқларида масофадан сигнализация тизимини такомиллаштириш.“Фан ва технологиялар тараққиёти” илмий-техникавий журнал. 2021 й

25. Шайматов Б.Х., I. Khafizov, K. Gafforov, O. Bozorov. Elimination of energy losses in pump units and increase of power efficiency by means of the tool of control of speed ISSN: 2776-0987 volume 2, issue 5, may, 2021 <https://it.academiascience.org/index.php/it/article/view/49>

26. Шайматов Б.Х., Гаффаров К.К., Рахматова М.У. Основные факторы совершенствования электроснабжения на промышленных предприятиях. Развитие науки и технологий научно – технический журнал. № 4., 2021 г.

27. Шайматов Б.Х., Холмуродов М.Б. Мелиоратив насос иншоотларида сув босимининг мақсадсиз оширилиши ва унинг электр энергия тақсимотига таъсири. “Фан ва технологиялар тараққиёти” илмий-техникавий журнал. 2022 й. №3 178-182б

28. Шайматов Б.Х., Holmurodov M.B., Xafizov X.I.. Energetik tizimda himoya vositasini qo'llash texnologiyasining ustivorligi. “Фан ва технологиялар тараққиёти” илмий-техникавий журнал. 2022 й. № 4 101-106 б

29. Шайматов Б.Х., Holmurodov M.B., Мелиоратив насос агрегатларининг ишлаш тавсифлари ва энергия тежаш режимларини таъминлаш вазифалари. “Фан ва технологиялар тараққиёти” илмий-техникавий журнал. 2022 й. № 6.

30. Шайматов Б.Х., Хожиев Қ.Б., Хожимурадов Ж., Оқмаматов Д. Распределение температуры по ширине фиксирующих элементов лучепоглощающей пластины. International Bulletin of Applied Sciences and Technology. Germaniya. 2022y.

31. Шайматов Б.Х., Xojiev Q.B. Energetika sohasida muqobil energiya manbalaridan foydalanish ko'satkichlari. «Eurasian Journal of Academic Research» xalqaro ilmiy jurnali (ISSN: 2181-2020) 2023 yil. <https://www.doi.org/10.37547/ejar-v03-i02-p2-78>

32. Шайматов Б.Х., Хафизов И.И., Холмуродов М.Б., Саттаров Т.А. «Электр машиналари» фанидан дарслик. Бухоро: Садриддин Салим Бухорий, Дурдона нашриёти, -2021 й. -637 б.