

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

(институт)

Кафедра «Промышленная электроника»

(кафедра)

11.03.04 Электроника и наноэлектроника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Промышленная электроника

(направленность (профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему **СИСТЕМА ПИТАНИЯ ВИБРАЦИОННОГО ПРИВОДА ДЛЯ
ХИМИЧЕСКОГО ГРАНУЛЯТОРА**

Студент(ка)

К.И. Банников

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент М.В. Позднов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой **к.т.н., доцент А.А. Шевцов**

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

(личная подпись)

« _____ » _____ 20 _____ Г.

Тольятти 2017

Аннотация

Объем 44 с., 10 рис., 1 табл., 32 источника

ВИБРАЦИОННЫЙ ПРИВОД, ГРАНУЛЯТОР

Объектом исследования является система питания вибрационного привода для химического гранулятора

Цель работы: разработка системы питания вибрационного привода для химического гранулятора

Задачи работы:

1. Обзор существующих решений
2. Расчет и математическое моделирование магнитной системы
3. Разработка силовой части схемы.
4. Разработка системы управления
5. Расчет схем и выбор элементов

Работа состоит из трех глав, в которых решены упомянутые задачи.

Для расчета и моделирования режимов работы индуктора использовался программный пакет Elcut 5.1. Математические расчеты проводились с использованием пакета MathCad 15.

Степень внедрения: произведены теоретические расчеты и математическое моделирование

Областью применения данной работы являются химические технологии гранулирования веществ.

Содержание

Аннотация.....	2
Содержание.....	3
Введение	4
1. Состояние вопроса	8
1.1. Формулирование актуальности, цели и задач проекта.....	8
1.2. Анализ исходных данных и известных решений.....	8
2. Магнитная система вибропривода	11
2.1. Расчет магнитной системы.....	11
2.2. Математическое моделирование магнитной системы.....	24
3. Система питания вибропривода	27
3.1. Силовая часть системы питания	27
3.2. Система управления	35
Заключение	42
Список литературы	43

Введение

В настоящее время в химической промышленности и сельском хозяйстве широко используются гранулированные вещества. Гранулированное вещество представляет собой шарики диаметром 1-5мм.

Широко применяемая установка для получения таких веществ (например, селитры) схематично изображена на рис. В.1[13]. Она представляет собой трубу диаметром 12-22м и высотой 30-90м. Вверху трубы установлен разбрызгиватель, в который подается расплав гранулируемого вещества и вытекает из него в низ мелкими каплями. Сквозь трубу снизу вверх продувается встречный падением капель поток воздуха и капли в падении застывают, превращаясь в шарики (гранулы) вещества. Установки работают непрерывно со средней производительностью 20-120т/час. Скорость продува воздуха составляет 0,5-0,8 м/с. К размерам гранул предъявляются требования: 90% гранул должны иметь диаметр 1-4мм, 70% - 2-3мм и только 3% могут иметь диаметр меньше 1мм (так называемая «пыль»).

Еще одно требование накладывается на температуру гранул. Если она превысит 50 °С, то после загрузки вещества в железнодорожные вагоны может произойти слипание гранул и разгрузка таких вагонов станет весьма проблематичной. Приходится выколачивать вещество из вагонов, отламывая его ломami и отбойными молотками. Особенно это требования актуально в летнее время, когда температура воздуха достигает 30-33°С. С этим пытаются бороться, используя «кипящий слой», когда гранулы падают сначала на решетку (на рисунке не показана), сквозь которую снизу продувают воздух и гранулы «кипят» на решетке (подпрыгивают из-за восходящего потока воздуха) остывая до заданной температуры. Если не удастся охладить гранулы до нужной температуры, их сгружают в

специальные хранилища большими кучами, где они лежат, остывая. А затем их грузят в вагоны. Такой способ, конечно, создает дополнительные трудности и расходы.

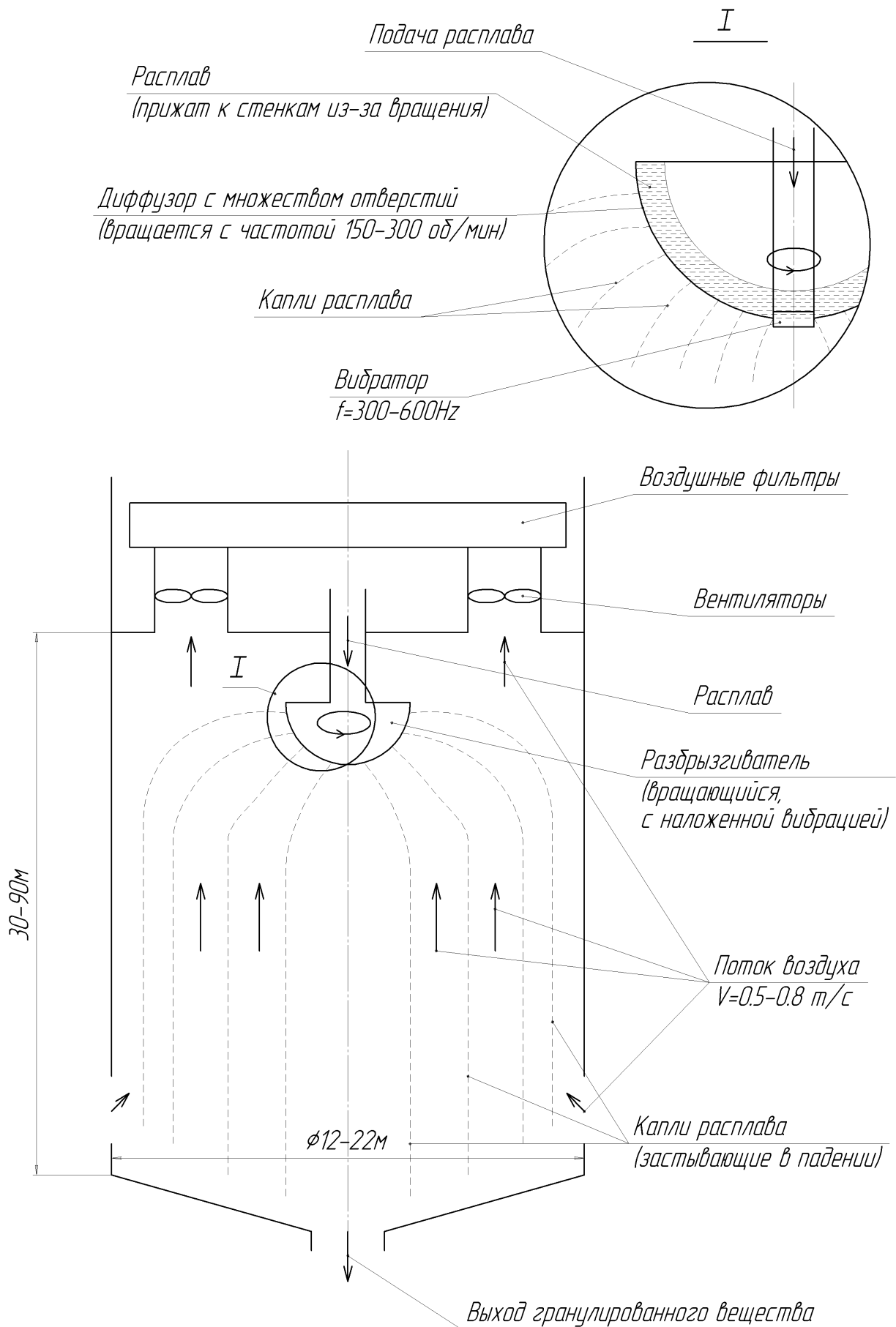


Рис. В.1 – Установка для гранулирования селитры.

Основная масса гранул имеет диаметр от 2-х до 3-х мм. Гранулы (капли) имеющие меньший диаметр имеют меньшую массу, падают медленней и успевают остывать ниже заданной температуры, а гранулы с большим диаметром имеют большую массу (масса пропорциональна кубу диаметра) падают быстрее и остывать не успевают. Вывод – нужно, чтобы гранулы имели одинаковый размер. В этом случае они все будут одинаково успевать остывать и качество гранулированного вещества улучшится за счет уменьшения разброса размеров. Это достигается за счет следующей конструкции разбрызгивателя:

Разбрызгиватель (изображенный на рис В.1 укрупнено) представляет собой чашеобразную емкость (выполняемую обычно из нержавеющей стали), в поверхности которой проделаны множество одинаковых отверстий. В него подается расплав гранулируемого вещества и выливается в низ каплями через отверстия. Для равномерного разбрызгивания по всей площади трубы чаша вращается с частотой 150-300 об/мин (при этом форма чаши подбирается таким образом, чтобы расплав прижимался к ее дну центробежными силами примерно равномерным слоем). При этом на чашу специальным вибратором накладывается вибрация с частотой 300-600Гц, приводящая к образованию капель с одинаковой частотой. Подбирая частоту вращения чаши, закладывания вибрации и давления подачи расплава можно добиться устойчивого каплеобразования и регулировать размер гранул. Каждый период вибрации приводит к образованию одной капли из каждого из отверстий чаши. Полученные таким образом капли имеют малый разброс размеров.

Данная работа посвящена разработке вибрационного привода, предназначенного для использования в вышеописанном грануляторе.

1. Состояние вопроса

1.1. Формулирование актуальности, цели и задач проекта

Актуальность работы обусловлена применением в установках для гранулирования пневматических дебалансных вибраторов, имеющих ряд недостатков.

Цель работы: разработка системы питания вибрационного привода для химического гранулятора.

Задачи работы:

1. Обзор существующих решений
2. Расчет и математическое моделирование магнитной системы
3. Разработка силовой части схемы.
4. Разработка системы управления
5. Расчет схем и выбор элементов

1.2. Анализ исходных данных и известных решений

На сегодняшний день наиболее распространены некоторые виды вибраторов[8]:

а) Электромагнитные (вибрация за счет притягивания индуктора к якорю при подаче электрического тока на его обмотку);

б) Гидравлические (вибрация за счет работы гидросистем, управляемых системой электроклапанов);

в) Индукционно-динамические (сила появляется за счет взаимодействия магнитного потока с током, индуцированным им в короткозамкнутом проводнике);

г) Пьезоэлектрические (основаны на свойстве пьезокристаллов изменять свои размеры под действием электричества);

д) Эксцентрикковые (вращение оси с закрепленным на ней эксцентриком (дебалансом)).

На данный момент в качестве вибратора используется пневматический дебалансный вибратор. Крыльчатка с эксцентриком (дебалансом, получаемым просверливанием в крыльчатке отверстий) вращается под действием потока воздуха, подаваемого к ней по специальной трубке и вибрирует, передавая вибрацию чаше. Направление вибрации не имеет значения для устойчивого каплеобразования. Частота вибрации, соответствующая частоте вращения крыльчатки, регулируется изменением напора воздуха. Отработанный воздух выбрасывается вместе с расплавом в трубу. У такого вибратора два основных недостатка.

Первый – это недолговечность подшипников, которым приходится на частоте 300-600Гц передавать усилие на чашу. Даже появление малейшей царапины (каверны) на поверхности подшипника приводит к его быстрому выходу из строя. Качественные подшипники могут выдержать бесперебойную работу между плановыми ремонтами (2-3 месяца), но некачественные ломаются за несколько часов или недель. Цена самого подшипника невелика, однако его замена подшипника невозможна без остановки производства, что приводит к большим потерям. Заранее отличить хороший подшипник от плохого практически очень сложно. На практике его качество выявляется уже в процессе эксплуатации, причем если он оказывается плохим – то это приводит к его поломке и остановке производства. Был случай, когда закупленные на пробу подшипники оказывались хорошими и закупалась целая партия, однако эта партия оказалась плохого качества.

Вторым недостаток обуславливается требованиями техники безопасности. Для смазки подшипника используется малое количество

смазки (2-3 капли в минуту), подаваемое вместе со сжатым воздухом в крыльчатку. Как уже было сказано, отработанный воздух вместе с маслом выбрасывается в общую трубу вместе с гранулируемым веществом. Часто такие установки используют для гранулирования селитры. А селитра (а также некоторые другие вещества) в сочетании со смазочным маслом становится взрывоопасным веществом. В принципе, концентрация масла в конечном продукте очень мала (граммы и доли грамма масла на тонны вещества) и не приводит к катастрофическим последствиям, однако с точки зрения техники безопасности даже такая низкая концентрация является нежелательной. Отводить отработанный воздух с маслом во вне трубы нет возможности, т.к. все пространство под разбрызгивателем находится под непрерывным «дождем» из расплава и установить там воздухопровод весьма проблематично. Без смазки подшипники ломаются очень быстро.

Необходимо создать такой вибратор, который будет лишен вышеперечисленных недостатков. Из всех известных вибраторов наиболее подходящим является электромагнитный.

2. Магнитная система вибропривода

2.1. Расчет магнитной системы

2.1.1. Выбор конструкции, материала магнитопровода электромагнитного вибропривода.

Исходя из того, что по условию вибропривод должен иметь возможность вращаться, мы выбрали конструкцию цилиндрической формы, изображенную на рис.1.1. Корпус вибропривода с индукторами крепится на неподвижном основании, а якорь крепится к нагрузке (чаше с химическим веществом), которую необходимо трясти для получения капель (см. введение). Для обеспечения равномерного “разбрызгивания” вещества, якорь будет вращаться относительно индуктора с частотой вращения 150-300Гц (оптимальная частота вращения подбирается непосредственно на рабочем месте для каждого химического вещества отдельно). Вибрация конструкции осуществляется за счет притягивания якоря поочередно то к одному, то к другому индуктору вибропривода. Частота вибраций по условию должна быть регулируемой и изменяться в пределах от 300 до 1000 Гц. В связи с большими частотами вибраций и условием возможного вращения в качестве магнитопровода выбираем магнитный материал из прессованного порошка (магнетодиэлектрика) типа КММ. Применение стали затруднительно, т.к. для уменьшения больших вихревых токов, необходима ее шихтовка, что создает трудности для вращения.

Вибропривод (рис. 2.1.) состоит из двух магнитопроводов индукторов (1,2), магнитопровода якоря (3) и обмоток возбуждения (5,6). Между индукторами и якорем существует небольшой воздушный зазор (4). Каждый индуктор имеет два полюса (9,10), которые осуществляют притяжение якоря. Площадь, через которую магнитный поток переходит из одного магнитопровода в другой, называется рабочей зоной электромагнита. Самое

нагруженное магнитным потоком место индуктора – спинка (8) находится между краем магнитопровода и краем окна заполнения обмоткой.

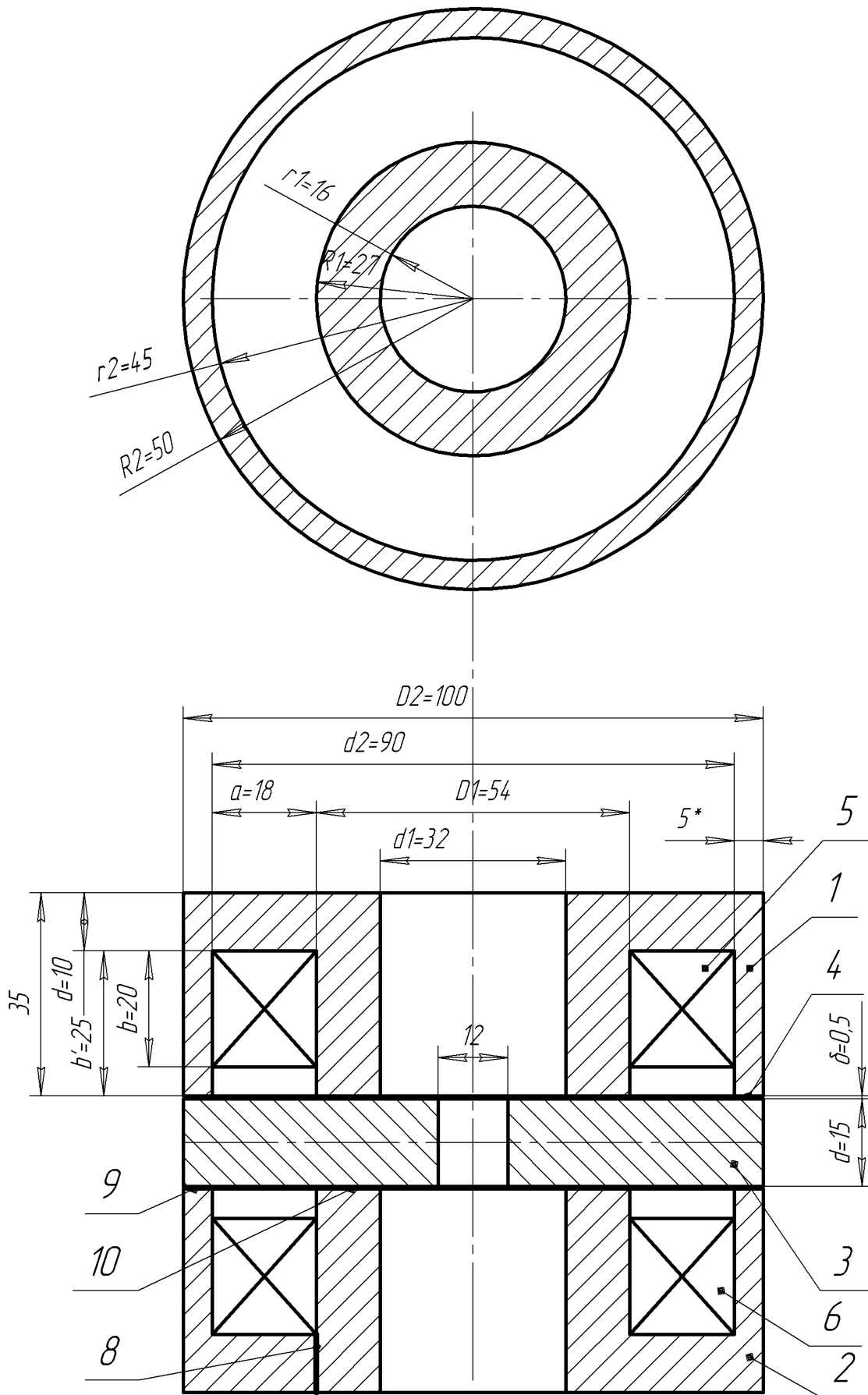


Рис. 2.1 – Конструкция магнитопровода вибропривода.

При работе вибропривода в каждую из обмоток индукторов по очереди будем подавать импульсы тока, вследствие чего якорь и будет притягиваться то к одному, то к другому индуктору. Импульсы тока в обмотках будем формировать, разряжая на них конденсатор С, предварительно заряженный до определенного значения.

2.1.2. Расчет электромагнитной системы.

Согласно исходным данным вибропривод должен развивать амплитудную силу в 1000 Н. По справочным данным [19] принимаем магнитную индукцию $B=1$ Тл и магнитную проницаемость $\mu=100$.

Сила находится по формуле:

$$P = \frac{B^2 \cdot S}{2\mu_0} \quad (2.1),$$

где P – амплитудная сила, развиваемая виброприводом;

B – максимальная магнитная индукция;

S – площадь рабочей зоны электромагнита;

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ – относительная магнитная проницаемость.

Отсюда выразим площадь S :

$$S = \frac{2P \cdot \mu_0}{B^2} = \frac{2 \cdot 1000 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7}}{1^2} = 25,133 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \quad (2.2)$$

Т.к. в выбранной конструкции вибропривода у индуктора два полюса,

то площадь каждого из них составит: $\frac{S}{2} = 12,566 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$.

Исходя из полученной площади полюсов, зададимся размерами полюса с небольшим запасом (рис.2.1): $R_1=27$ мм, $R_2=50$ мм, $r_1=16$ мм, $r_2=45$ мм и находим площади S_1 и S_2 :

$$S_1 = \pi (R_1^2 - r_1^2) = 3,14 \cdot (27 \cdot 10^{-3})^2 - (16 \cdot 10^{-3})^2 = 14,86 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \quad (2.3)$$

$$S_2 = \pi (R_2^2 - r_2^2) = 3,14 \cdot (50 \cdot 10^{-3})^2 - (45 \cdot 10^{-3})^2 = 14,923 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \quad (2.4)$$

В самом нагруженном месте площадь должна быть не менее, чем выбранная:

$$S_3 = 2\pi \cdot R1 \cdot c = 2 \cdot 3,14 \cdot 27 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 16,965 \text{ см}^2 \quad (2.5),$$

где $c=10\text{мм}$ – высота спинки в нагруженном месте.

Зададимся размерами паза под обмотку: $a=r2 - R1=1,8 \text{ см}$; $b=2,5 \text{ см}$.

Площадь паза под обмотку:

$$S_a = \pi (R2^2 - R1^2) = 3,14 \cdot (45 \cdot 10^{-3})^2 - (7 \cdot 10^{-3})^2 = 40,715 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \quad (2.6)$$

Площадь окна:

$$S_{ок} = a \cdot (b - 5\text{мм}) = 1,8 \cdot (2,5 - 0,5) = 3,6 \text{ см}^2 \quad (2.7),$$

где 5мм – технологический размер.

Находим объем и массу индуктора:

$$V_{II} = \pi (R2^2 - r1^2) \cdot (c + a) - R1^2 \cdot b = \\ = 3,14 \cdot (45^2 - 1,6^2) \cdot (2,5 + 1) - 7^2 \cdot 2,5 = 144,953 \text{ см}^3 \quad (2.8)$$

$$m_{II} = V_{II} \cdot \gamma = 144,953 \cdot 10^{-6} \cdot 6,65 \cdot 10^3 = 0,964 \text{ кг} \quad (2.9),$$

где $\gamma = 6,65 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ – плотность стали.

Исходя из прочностных соображений, толщину якоря берем: $d=15 \text{ мм}$, находим объем и массу якоря:

$$V_{я} = \pi (R2^2 - (2\text{мм})^2) \cdot d = 3,14 \cdot (40 \cdot 10^{-3})^2 - (2 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 15 \cdot 10^{-3} = \\ = 111,024 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 \quad (2.10),$$

где 12 мм – диаметр отверстия для крепления якоря вибропривода.

$$m_{я} = V_{я} \cdot \gamma = 111,024 \cdot 10^{-6} \cdot 6,65 \cdot 10^3 = 0,738 \text{ кг} \quad (2.11)$$

Объем всего магнитопровода:

$$V_M = 2V_{II} + V_{я} = 144,953 \cdot 10^{-6} \cdot 2 + 111,024 \cdot 10^{-6} = 400,93 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 \quad (2.12)$$

Масса всего магнитопровода:

$$m_M = V_M \cdot \gamma = 400,93 \cdot 10^{-6} \cdot 6,65 \cdot 10^3 = 2,666 \text{ кг} \quad (2.13)$$

Рассчитаем длину пути потока в стали:

$$l_{cm} = 2 \cdot (c + a) + c + d = 2 \cdot (2,5 + 1,8) + 1 + 1,5 = 11,1 \text{ см} \quad (2.14)$$

Зададимся значением потока:

$$\Phi = B \frac{S_1 + S_2}{2} = 1 \cdot \frac{(4,86 \cdot 10^{-4} + 14,923 \cdot 10^{-4}) \cdot 10^{-4}}{2} = 1,489 \text{ мВб} \quad (2.15)$$

Магнитное сопротивление зазора:

$$R_{\delta} = \frac{2 \cdot \delta}{\mu_0 \cdot S'} = \frac{2 \cdot 15 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 14,891 \cdot 10^{-4}} = 5,344 \cdot 10^5 \text{ Гн}^{-1} \quad (2.16),$$

где
$$S' = \frac{S_1 + S_2}{2} = \frac{14,86 \cdot 10^{-4} + 14,923 \cdot 10^{-4}}{2} = 14,891 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

Магнитное сопротивление стали:

$$R_{cm} = \frac{l_{cm}}{\mu_0 \mu \cdot S'} = \frac{11,1 \cdot 10^{-2}}{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 100 \cdot 14,891 \cdot 10^{-4}} = 5,932 \cdot 10^5 \text{ Гн}^{-1} \quad (2.17)$$

Исходя из уравнений (2.16) и (2.17) находим общую магнитную проводимость:

$$G = \frac{1}{R_{\delta} + R_{cm}} = \frac{1}{(5,344 + 5,932) \cdot 10^5} = 8,869 \cdot 10^{-7} \text{ Гн} \quad (2.18)$$

Необходимая намагничивающая сила:

$$F_m = \frac{\Phi}{G} = \frac{1,489 \cdot 10^{-3}}{8,869 \cdot 10^{-7}} = 1,679 \cdot 10^3 \text{ А} \quad (2.19)$$

Коэффициент заполнения медью обмотки в окне индуктора принимаем: $K_3=0,5$; коэффициент пересчета амплитудного значения в действующее для синусоидальных импульсов (коэффициент формы):

$$K_f = \frac{1}{\sqrt{2}};$$

С учетом K_3 находим амплитудную плотность тока:

$$J_m = \frac{F_m}{K_3 \cdot S_{ок}} = \frac{1,679 \cdot 10^3}{0,5 \cdot 3,6 \cdot 10^{-4}} = 9,328 \cdot 10^6 \frac{\text{А}}{\text{м}^2} \quad (2.20)$$

С учетом K_f и Q находим действующую плотность тока:

$$J' = J_m \frac{K_f}{\sqrt{Q}} = 9,328 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{4}} = 3,298 \cdot 10^6 \frac{A}{m^2} \quad (2.21)$$

Действующая намагничивающая сила:

$$F = F_m \frac{K_f}{\sqrt{Q}} = 1,679 \cdot 10^3 \cdot \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{4}} = 593,6 \quad A \quad (2.22)$$

Магнитные индукции в полюсах:

- В первом полюсе: $B_1 = \frac{\Phi}{S_1} = \frac{1,489 \cdot 10^{-3}}{14,86 \cdot 10^{-4}} = 1,002 \quad \text{Тл} \quad (2.23)$

- Во втором полюсе: $B_2 = \frac{\Phi}{S_2} = \frac{1,489 \cdot 10^{-3}}{14,923 \cdot 10^{-4}} = 0,998 \quad \text{Тл} \quad (2.24)$

Сила, развиваемая каждым из полюсов:

- первым $P_1 = \frac{B_1^2 \cdot S_1}{2\mu_0} = \frac{1,002^2 \cdot 14,86 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7}} = 593,753 \quad \text{Н} \quad (2.25)$

- вторым $P_2 = \frac{B_2^2 \cdot S_2}{2\mu_0} = \frac{0,998^2 \cdot 14,923 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7}} = 591,253 \quad \text{Н} \quad (2.26)$

Общая сила, развиваемая полюсами:

$$P = P_1 + P_2 = 1185 \text{ Н} \quad (2.27)$$

Рассчитаем энергию, запасаемую в поле:

$$W = G \cdot \frac{F_m^2}{2} = 8,869 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{1,679 \cdot 10^3}{2} = 1,25 \quad \text{Дж} \quad (2.28)$$

Задаемся значением напряжения на накопительном конденсаторе:

$$U = 380 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,9 = 483,7 \text{ В} \quad \text{и периодом одного импульса: } t_{\text{и}} = 250 \text{ мкс.}$$

Определяем емкость зарядного конденсатора С по формуле:

$$C = \frac{2 \cdot W}{U^2} = \frac{2 \cdot 1,25}{483,7^2} = 10,689 \quad \text{мкФ} \quad (2.29)$$

Принимаем $C = 10 \text{ мкФ}$.

Определяем число витков обмотки:

$$w = \frac{t_{II}}{\pi \sqrt{C \cdot G}} = \frac{250 \cdot 10^{-6}}{3,14 \cdot \sqrt{10 \cdot 10^{-6} \cdot 8,869 \cdot 10^{-7}}} = 26,722 \quad (2.30)$$

Принимаем число витков $w=27$ и рассчитываем индуктивность:

$$L = w^2 \cdot G = 27^2 \cdot 8,869 \cdot 10^{-7} = 64,6 \text{ мГн} \quad (2.31)$$

С учетом принятого числа витков рассчитываем:

- амплитудный ток в обмотке: $I_m = \frac{F_m}{w} = \frac{1679}{27} = 62 \text{ А} \quad (2.32)$

- действующий ток: $I_d = I_m \frac{K_f}{\sqrt{Q}} = 62,188 \cdot \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{4}} = 22 \text{ А} \quad (2.33)$

- средний ток: $I_{cp} = I_m \frac{0,64}{\sqrt{Q}} = 62,188 \cdot \frac{0,64}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{4}} = 20 \text{ А} \quad (2.34)$

Площадь сечения провода (расчетная):

$$S_{cu}' = \frac{S_{ок} \cdot K_3}{w} = \frac{0,5 \cdot 3,6 \cdot 10^{-4}}{27} = 6,667 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 \quad (2.35)$$

Диаметр провода (расчетный):

$$d_{cu} = \sqrt{\frac{4S_{cu}'}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 6,667 \cdot 10^{-6}}{3,14}} = 2,913 \text{ мм} \quad (2.36)$$

Выбираем диаметр провода: $d_{cu}=2,36 \text{ мм}$.

Площадь сечения выбранного провода:

$$S_{cu} = \frac{\pi \cdot d_{cu}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot (2,36 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 4,374 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 \quad (2.37)$$

Для удобства намотки провода изменим рассчитанное число витков 27 на 24. Поэтому пересчитываем формулы (2.31) – (2.34).

Принимаем число витков $w=24$ и рассчитываем индуктивность:

$$L = w^2 \cdot G = 24^2 \cdot 8,869 \cdot 10^{-7} = 51,1 \text{ мГн} \quad (2.38)$$

С учетом принятого числа витков рассчитываем:

- амплитудный ток в обмотке: $I_m = \frac{F_m}{w} = \frac{1679}{24} = 70 \text{ А} \quad (2.39)$

- действующий ток:
$$I_d = I_m \frac{K_f}{\sqrt{Q}} = 69,962 \cdot \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{4}} = 25 \text{ А} \quad (2.40)$$

- средний ток:
$$I_{cp} = I_m \frac{0,64}{\sqrt{Q}} = 69,962 \cdot \frac{0,64}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{4}} = 22 \text{ А} \quad (2.41)$$

После пересчета находим действующую плотность тока:

$$J_d = \frac{I_d}{S_{cu}} = \frac{24,735}{4,37 \cdot 10^{-6}} = 5,65 \cdot 10^{-6} \frac{A}{M^2} \quad (2.42)$$

Активное сопротивление обмотки:

$$R = \rho_{cu} \frac{l_{cp} \cdot w}{S_{cu}} = 1,8 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{22,62 \cdot 10^{-2} \cdot 24}{4,347 \cdot 10^{-6}} = 0,022 \text{ Ом} \quad (2.43),$$

где
$$l_{cp} = 2\pi \frac{(r2 + R1)}{2} = 22,62 \text{ см} - \text{средняя длина индуктора,}$$

 $\rho_{cu} = 1,8 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м} - \text{удельное сопротивление меди.}$

Рассчитаем потери за время протекания тока:

- В одной обмотке (с учетом синусоидальности тока):

$$W_{cu} = R \cdot \frac{I_m^2}{2} \cdot t_{II} = 0,022 \cdot \frac{69,962^2}{2} \cdot 250 \cdot 10^{-6} = 13,667 \text{ мДж} \quad (2.44),$$

что составляет
$$\frac{W_{cu}}{W} = \frac{13,667 \cdot 10^{-3}}{1,25} = 1,093 \%$$
 от всей энергии, запасаемой

в поле.

- Потери в тиристоре за то же время:

$$W_{vs} = U_{i0} \cdot I_m \cdot 0,64 \cdot t_{II} = 2,5 \cdot 69,962 \cdot 0,64 \cdot 250 \cdot 10^{-6} = 27,985 \text{ мДж} \quad (2.45),$$

где $U_{i0} = 2,5 \text{ В}$ – значение падения напряжения на тиристоре;

$$0,64 = \frac{\int_0^{\pi} \sin(t) dt}{\pi} - \text{коэффициент, рассчитанный, исходя из}$$

синусоидальности тока.

Потери в тиристоре составили 2,238 % от всей энергии, запасаемой в поле.

Постоянная времени полученной катушки:

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{5,108 \cdot 10^{-4}}{0,022} = 22,868 \text{ мс} \quad (2.46)$$

Суммарные потери в обоих электромагнитах:

$$W_2 = 2 \cdot (W_{cu} + W_{vs}) = 2 \cdot (13,667 + 27,985) = 83,3 \text{ мДж} \quad (2.50)$$

Мощность потерь в обоих электромагнитах на частоте $f=1000$ Гц:

$$P_{cu2} = f \cdot 2 \cdot W_{cu} = 1000 \cdot 2 \cdot 13,667 \cdot 10^{-3} = 27,335 \text{ В} \cdot \text{А} \quad (2.51),$$

$$P_{vs2} = f \cdot 2 \cdot W_{vs} = 1000 \cdot 2 \cdot 27,985 \cdot 10^{-3} = 55,97 \text{ В} \cdot \text{А} \quad (2.52)$$

Суммарная мощность потерь в обоих электромагнитах на частоте $f=1000$ Гц:

$$P_2 = f \cdot W_2 = 1000 \cdot 83,3 \cdot 10^{-3} = 83,3 \text{ В} \cdot \text{А} \quad (2.53)$$

Во время работы схемы питания электромагнитного вибровозбудителя предварительно заряженный конденсатор C перезаряжается то на одну, то на другую обмотку. При этом напряжение на конденсаторе уменьшается. После прохождения тока по обмоткам, необходимо восполнение потерь напряжения на конденсаторе C . Это обеспечивается колебательным подзарядом конденсатора через дроссель $L3$ от накопительного конденсатора C_ϕ до первоначального напряжения за время подзаряда $t_p=150$ мкс. Необходимо определить, какой средний ток I_p должен протекать в цепи при длительности подзаряда $t_p=150$ мкс и каким должен быть амплитудный ток I_{pm} , с учетом синусоидальности происходящего процесса.

Средний ток подзарядки при длительности подзарядки $t_p=150$ мкс:

$$I_p = \frac{W \cdot 0,5}{t_p \cdot U} = \frac{1,25 \cdot 0,5}{150 \cdot 10^{-6} \cdot 483,66} = 8,6 \text{ А} \quad (2.54)$$

Амплитудный ток подзарядки при синусоидальности процессов:

$$I_{pm} = \frac{I_p}{0,64} = \frac{12,924}{0,64} = 13,5 \text{ А} \quad (2.55)$$

2.1.3. Расчет потерь в виброприводе.

Общие удельные потери в магнитопроводе при однополярных синусоидальных импульсах могут быть рассчитаны:

$$P_o = K_0 \cdot f_e \cdot B^2 + K_1 \cdot f_e^2 \cdot B^2, \quad (2.56)$$

где $K_0=1534$; $K_1=4,212$ – коэффициенты, определяющие потери в магнитопроводе.

$$f_e \text{ – эквивалентная частота: } f_e = \frac{1}{2 \cdot t_{и}} = 2000 \text{ Гц} \quad (2.57)$$

Зададимся среднедействующими по объему амплитудными значениями индукций: $B_{и1}=0,8$; $B_{и2}=0,6$; $B_{я}=0,4$.

Найдем потери за один период в индукторах и в якоре с учетом B_i и f_e .

Потери за один период в первом индукторе:

$$P_{и1}' = P_{0и1} \cdot t_{и} \cdot V_{и} = 1,275 \cdot 10^7 \cdot 250 \cdot 10^{-6} \cdot 144,953 \cdot 10^{-6} = 0,462 \text{ Вт}, \quad (2.58),$$

где $P_{0и1} = K_0 \cdot f_e \cdot B_{и1}^2 + K_1 \cdot f_e^2 \cdot B_{и1}^2 = 1534 \cdot 2000 \cdot 0,8^2 + 4,212 \cdot 2000^2 \cdot 0,8^2 = 1,275 \cdot 10^7 \text{ Вт}$ – общие потери в первом индукторе.

Потери за один период во втором индукторе:

$$P_{и2}' = P_{0и2} \cdot t_{и} \cdot V_{и} = 7,17 \cdot 10^6 \cdot 250 \cdot 10^{-6} \cdot 144,953 \cdot 10^{-6} = 0,26 \text{ Вт}, \quad (2.59),$$

где $P_{0и2} = K_0 \cdot f_e \cdot B_{и2}^2 + K_1 \cdot f_e^2 \cdot B_{и2}^2 = 1534 \cdot 2000 \cdot 0,6^2 + 4,212 \cdot 2000^2 \cdot 0,6^2 = 7,17 \cdot 10^6 \text{ Вт}$ – общие потери во втором индукторе.

Потери за один период в якоре:

$$P_{я}' = P_{0я} \cdot t_{и} \cdot V_{и} = 3,187 \cdot 10^6 \cdot 250 \cdot 10^{-6} \cdot 113,097 \cdot 10^{-6} = 0,117 \text{ Вт}, \quad (2.60),$$

где $P_{0я} = K_0 \cdot f_e \cdot B_{я}^2 + K_1 \cdot f_e^2 \cdot B_{я}^2 = 1534 \cdot 2000 \cdot 0,4^2 + 4,212 \cdot 2000^2 \cdot 0,4^2 = 3,187 \cdot 10^6 \text{ Вт}$ – общие потери в якоре.

Суммарные потери за период:

$$P_{\Sigma}' = P_{и1}' + P_{и2}' + P_{я}' = 0,462 + 0,26 + 0,117 = 0,899 \text{ Вт} \quad (2.61)$$

Т.к. суммарные потери составляют 71,92% вместо предполагаемых 50% от полной энергии, то пересчитываем формулы (1.54), (1.55).

Средний ток подзарядки при длительности подзарядки $t_p = 150$ мкс:

$$I_p = \frac{P_{\Sigma}}{t_p \cdot U} = \frac{0,899}{150 \cdot 10^{-6} \cdot 483,66} = 12,4 \text{ А}$$

Амплитудный ток подзарядки при синусоидальности процессов:

$$I_{pm} = \frac{I_p}{0,64} = \frac{7,43}{0,64} = 19,4 \text{ А}$$

2.1.4. Проверка правильности произведенных расчетов.

При проверке пойдем от обратного: предположим, что нам известен ток, протекающий по обмотке I и величина зазора δ (рис.2.1) Необходимо определить силу P , действующую в виброприводе.

$$P = \frac{B^2 S}{2\mu_0} \quad (2.62),$$

Сила находится по формуле:

где S – площадь рабочей зоны электромагнита;

B – магнитная индукция.

По закону Ома для магнитной цепи определяем магнитный

ПОТОК:
$$\Phi = \frac{F}{R_{\delta 1} + R_{cm1} + R_{\delta 2} + R_{cm2}} \quad (2.63),$$

где F – намагничивающая сила;

$R_{\delta 1}, R_{\delta 2}$ - магнитные сопротивления зазора;

R_{cm1}, R_{cm2} - магнитные сопротивления стали якоря и индуктора соответственно.

Для равномерного поля: $\Phi = B \cdot S$, тогда с учетом $F = I \cdot w$ находим магнитную индукцию:

$$B = \frac{I \cdot w}{S/2 \cdot \sum R} \quad (2.64),$$

где $S/2$ – площадь одного полюса индуктора,

$$\sum R = R_{\delta} + R_{cm} = R_{\delta 1} + R_{\delta 2} + R_{cm 1} + R_{cm 2}.$$

$R_{\delta 1}, R_{\delta 2}$ и $R_{cm 1}, R_{cm 2}$ определяется как:

$$R_{\delta 1} = \frac{\delta}{\mu_0 S_1}; R_{\delta 2} = \frac{\delta}{\mu_0 S_2}; R_{cm 1} = \frac{1}{\mu_0 \mu_{cm}} \cdot \frac{l_{cm 1}}{S_{cm 1}}; R_{cm 2} = \frac{1}{\mu_0 \mu_{cm}} \cdot \frac{l_{cm 2}}{S_{cm 2}},$$

$$R_{\delta} = R_{\delta 1} + R_{\delta 2} = \frac{2\delta}{\mu_0 S}$$

Суммарное сопротивление зазоров: (2.65);

$$R_{cm} = R_{cm 1} + R_{cm 2} = \frac{1}{\mu_0 \mu_{cm}} \cdot \frac{l_{cm}}{S_{cm}}$$

Суммарное сопротивление стали: (2.66).

Подставляем в (1.62) и находим силу P:

$$P = \left(\frac{I \cdot w}{S/2 \cdot (R_{\delta} + R_{cm})} \right)^2 \cdot \frac{S}{2\mu_0} = \left(\frac{I \cdot w}{R_{\delta} + R_{cm}} \right)^2 \cdot \frac{4}{2\mu_0 S}$$

Подставляем числа из расчета:

$$P = \left(\frac{I \cdot w}{R_{\delta} + R_{cm}} \right)^2 \cdot \frac{4}{2\mu_0 S} = \left(\frac{70 \cdot 24}{(6,344 + 5,932) \cdot 10^5} \right)^2 \cdot \frac{4}{2 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 25,133 \cdot 10^{-4}} = 1406 \text{ Н}$$

Из-за того, что размеры вибропривода были выбраны с небольшим запасом, результат получился немного больше исходного, что вполне допустимо. Полученное число говорит о том, что наши расчеты верны.

2.2. Математическое моделирование магнитной системы

Осуществим проверку правильности произведенных расчетов с помощью программного пакета расчета магнитных полей Eсult.

Расчет производился с использованием программного комплекса Eсult, разбивающего расчетную область на несколько десятков тысяч конечных элементов, что обеспечивало достаточную точность результатов.

В программе создали геометрическую модель вибропривода (рис.2.2). Задали свойства магнитного материала, расчетные значения намагничивающей силы.

Параметры вибропривода, рассчитываемые при помощи программного комплекса Eсult:

I – ток, протекающий через 24 витка обмотки вибропривода;

F – намагничивающая сила, развиваемая при токе I;

W – энергия магнитного поля;

Wco – коэнергия;

Фоб – потокосцепление на один виток обмотки

Физм – поток во внутреннем полюсе индуктора (в месте намотки потокоизмерительных витков)

Ря – пондеромоторная сила, действующая на якорь

Ри – пондеромоторная сила, действующая на индуктор

Рио – пондеромоторная сила, действующая на индуктор с обмоткой

Р – сила (средняя между силами якоря и индуктора):
$$P = \frac{P_{\text{я}} + P_{\text{и}}}{2}$$

Программа произвела расчет параметров вибропривода для зазора между якорем и индуктором $\delta=0,5\text{мм}$.

Результаты расчета свели в таблицу 2.1.

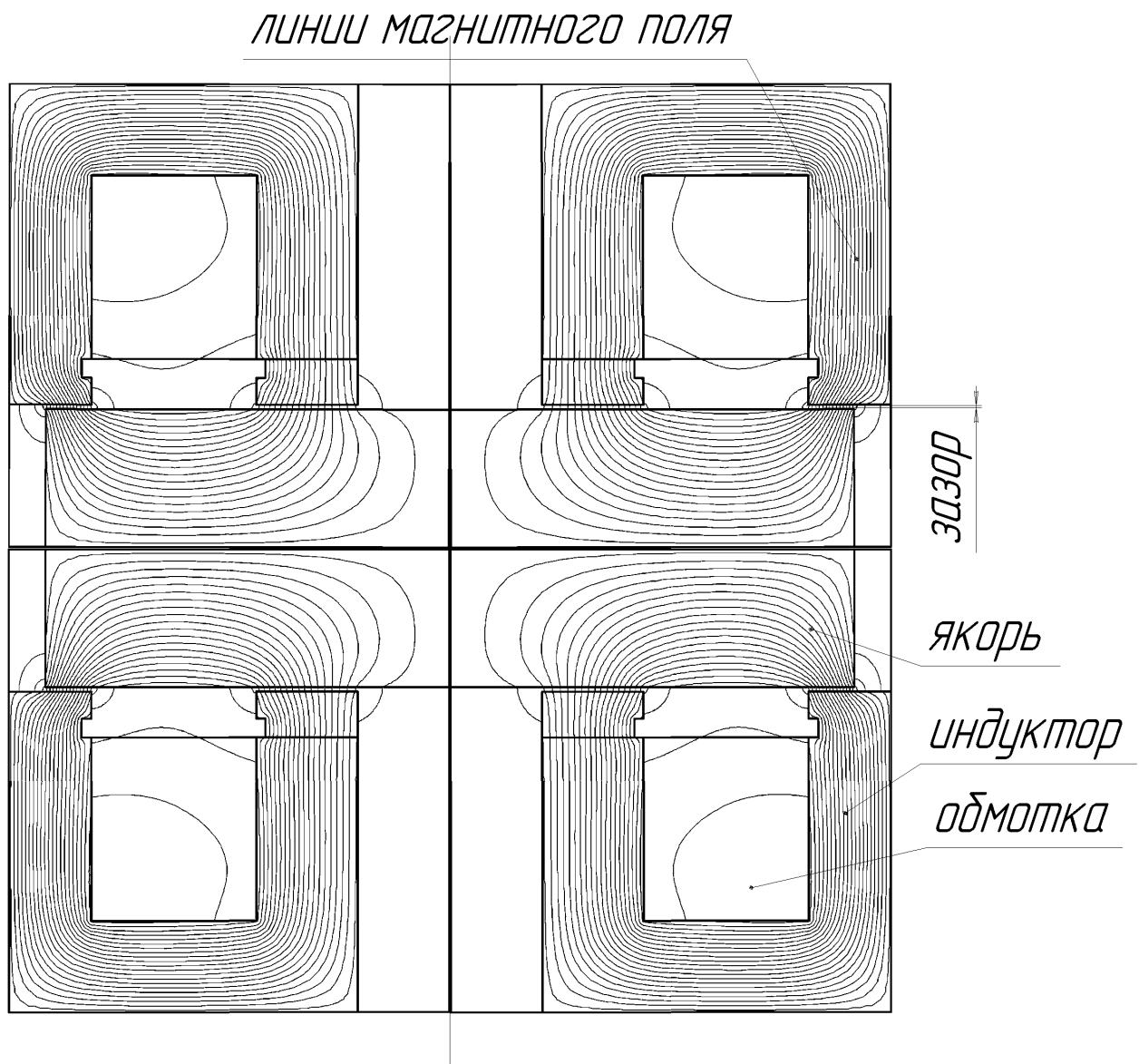


Рис. 2.2. – Картина магнитного поля.

Таблица 2.1 - Результаты расчета магнитных полей электромагнитного вибропривода в программном пакете Eсult при величине магнитного зазора $\delta=0,5\text{мм}$

I, А	Расчитываемая величина						
	F, А	W, Дж	W _{со} , Дж	Фоб, Вб	Ря, Н	Ри, Н	Р, Н
0	0	0	0	0	0	0	0
4,2	100	0,00855	0,0086484	0,00017352	9,3061	9,3431	9,3446
12,5	300	0,06838	0,074401	0,00048034	71,026	71,427	71,226
20,8	500	0,1646	0,19448	0,00072479	160,75	162,02	161,38
29,2	700	0,28939	0,35801	0,00093498	265,94	268,64	267,29
41,7	1000	0,51877	0,67539	0,0012089	441,41	447,24	444,32
54,2	1300	0,75723	1,0648	0,0014192	604,2	613,84	609,40
70,8	1700	1,0728	1,6643	0,001632	791,61	807,2	799,40
83,3	2000	1,3316	2,1618	0,0017733	928,05	949,21	938,63
104,2	2500	1,7649	3,0744	0,0019682	1130,3	1162,2	1146,2
125	3000	2,162	4,0813	0,0021142	1289,8	1333,1	1311,4
166,7	4000	2,8848	6,2753	0,0023245	1528	1594,5	1561,2

По расчетам видно, что при токе $I = 70,8\text{А}$, намагничивающая сила $F=1700\text{А}$, энергия запасаемая в поле $W=1,0728$ и сила, развиваемая виброприводом $P=799,405\text{Н}$.

Таким образом, параметры вибропривода, рассчитанные при помощи программы Eсult, в пределах 20% погрешности совпадают с параметрами, которые рассчитываются при помощи формул.

3. Система питания вибропривода

3.1. Силовая часть системы питания

3.1.1. Обзор существующих решений.

Система питания должна подавать ток то в одну, то в другую обмотку индуктора. Это можно осуществить при помощи различных схем силовой части системы питания. Одна из них, выполненная на транзисторах, представлена на рис.3.1.

Она состоит из двух однофазных полууправляемых конвертеров. Первый конвертер содержит следующие силовые приборы: транзисторы VT1.1 и VT1.2, диоды VD1.1 и VD1.2., второй: транзисторы VT2.1 и VT2.2, диоды VD2.1 и VD2.2. Индуктивности Z1 и Z2 являются обмотками электромагнитов.

Ток I_1 , создаваемый в обмотке Z1, приводит к появлению силы, тянущей якорь вибропривода в одну, а ток I_2 , создаваемый в обмотке Z2 – в другую сторону.

Каждый конвертер в определенный момент времени может работать в одном из трех режимов (режимы показаны на примере первого конвертера):

1. «накачка» - транзисторы VT1.1 и VT1.2 – открыты, энергия из накопительного конденсатора C_n поступает в нагрузку Z1, ток I_1 , протекая по цепи $+C_n - VT1.2 - Z1 - VT1.1 - C_n$, быстро возрастает.

2. «полка» - один из транзисторов VT1.1 или VT1.2 открыт, а другой – закрыт, например VT1.1, тогда ток I_1 , протекая по цепи $Z1 - VD1.1 - VT1.2 - Z2$, медленно спадает из-за активных потерь в полупроводниковых приборах и обмотке.

3. «рекуперация» - оба транзистора закрыты. Энергия из нагрузки Z1 рекуперирована в накопительный конденсатор, ток I_1 в нагрузке Z1, протекая по цепи $-C_n - VD1.2 - Z1 - VD1.1 - +C_n$, быстро спадает.

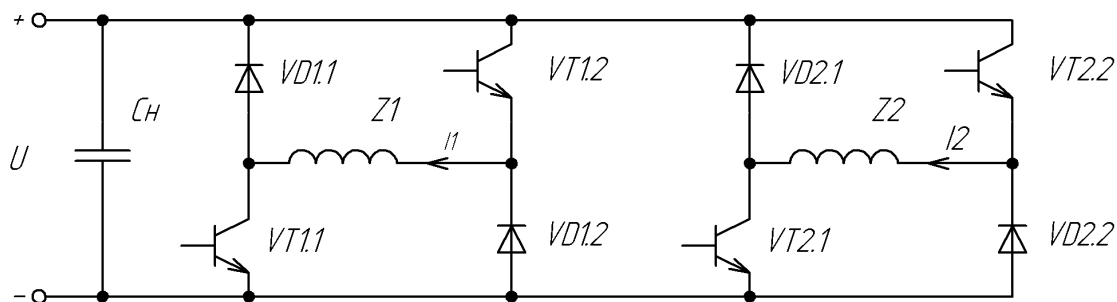


Рис. 3.1. – Полумостовая схема формирователя импульсов тока на транзисторах

Схема, представленная на рис.3.1 обладает большой управляемостью, универсальностью, но она нам не подходит, т.к. изготавливается на транзисторах, что усложняет работу системы.

Нам необходимо выбрать наиболее легкую в исполнении схему. Самая простая, из рассмотренных нами схем питания вибропривода, построенная на тиристорах представлена на рис.3.2.

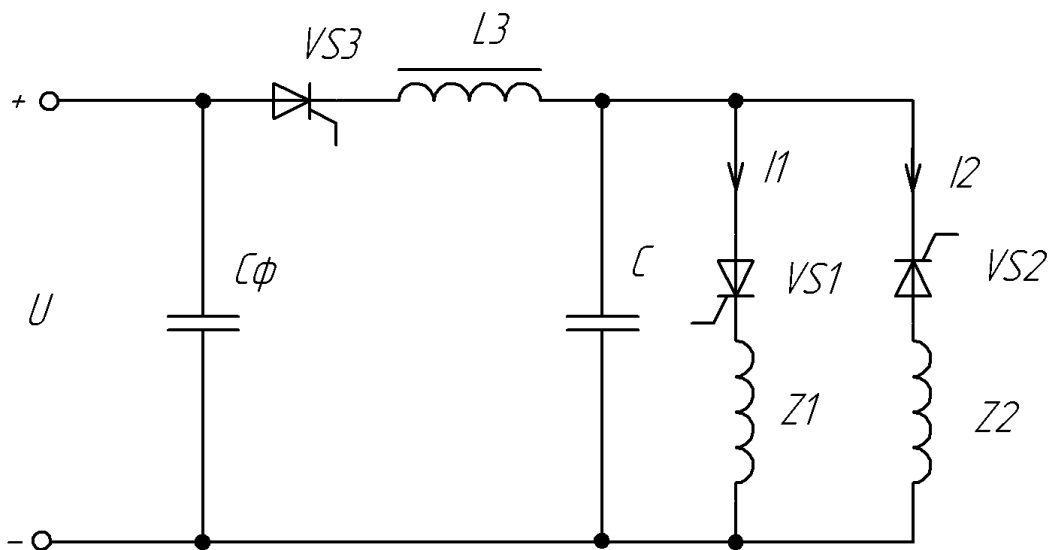


Рис. 3.2. – Формирователь импульсов тока на тиристорах

3.1.2. Описание принципа работы схемы.

Предположим, что до момента времени 0 все тиристоры закрыты, конденсатор С заряжен до определенного значения U_1 (рис.3.3). В момент времени 0 открываем тиристор VS1, ток I_1 протекает по цепи: +С – VS1 – Z1 – С (рис.2.2). При этом происходит процесс колебательного разряда конденсатора С на нагрузку Z1 (первую обмотку вибропривода), значение напряжения U_c при этом изменяется от U_1 до U_2 (рис.2.3) и возникает сила, тянущая якорь к верхнему индуктору, содержащему первую обмотку. Когда конденсатор С перезарядится, тиристор VS1 закроется и будет восстанавливать свои запирающие свойства в течение периода времени t_{pv1} .

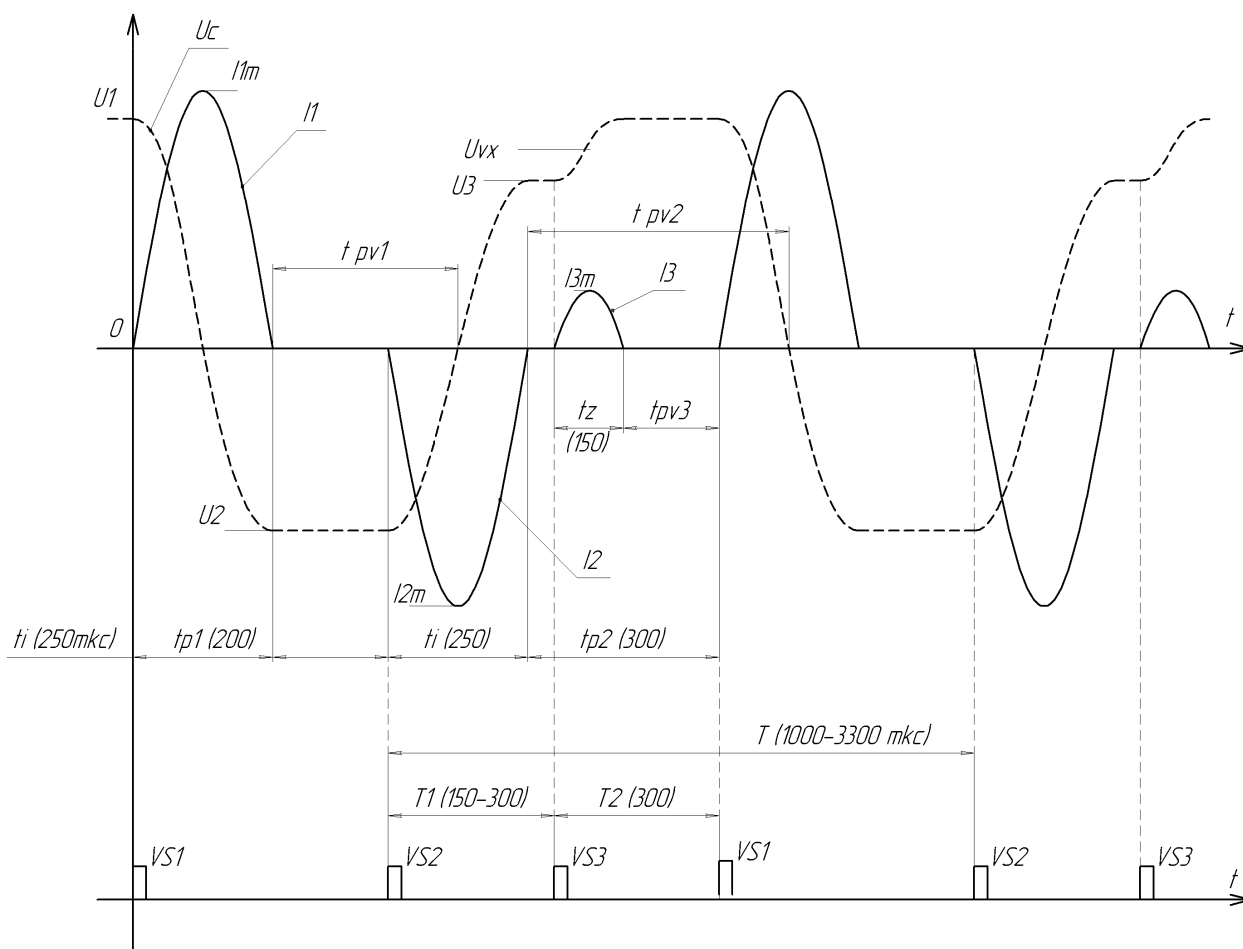


Рис. 3.3. – Временные диаграммы работы формирователя импульсов тока на тиристорах

Далее импульсом управления VS2 открываем тиристор VS2, ток I_2 протекает по второй обмотке Z2, вследствие чего возникает сила, тянущая

якорь в противоположную сторону. Конденсатор C перезаряжается по цепи: $C - VS2 - Z2 - C$ до значения $U3$, тиристор $VS2$ закрывается и восстанавливает свои запирающие свойства в течение периода времени t_{pV2} . Реальное направление тока $I2$ не совпадает с направлением на схеме, поэтому на диаграмме он имеет отрицательное значение.

В процессе прохождения тока по обмоткам теряется часть энергии конденсатора C , из-за чего $U3 < U1$ (рис.3.3). Для восстановления этих потерь импульсом управления $VS3$ открывается зарядный тиристор $VS3$, и ток $I3$ протекает по цепи: $+C_{\phi} - VS3 - L3 - C - C_{\phi}$. Фильтрующий конденсатор C_{ϕ} необходим для зарядки конденсатора C . Конденсатор C дозаряжается от значения $U3$ до первоначального значения $U1$. В связи с колебательным процессом зарядного дросселя это напряжение больше входного напряжения $U_{вх}$, к тиристору $VS3$ прикладывается обратное напряжение и он закрывается, восстанавливает свои запирающие свойства в течение момента времени t_{pV3} . Далее все процессы повторяются.

Обратим внимание, какое время отведено каждому тиристору на восстановление запирающих свойств: тиристорам $VS1, VS2$ – до тех пор, пока напряжение на конденсаторе не станет нулевым ($U_C=0$), а для $VS3$ – до тех пор, пока не откроется первый тиристор $VS1$.

Проанализировав работу схемы формирователя импульсов тока, разработали силовую часть схемы питания вибропривода, представленную на

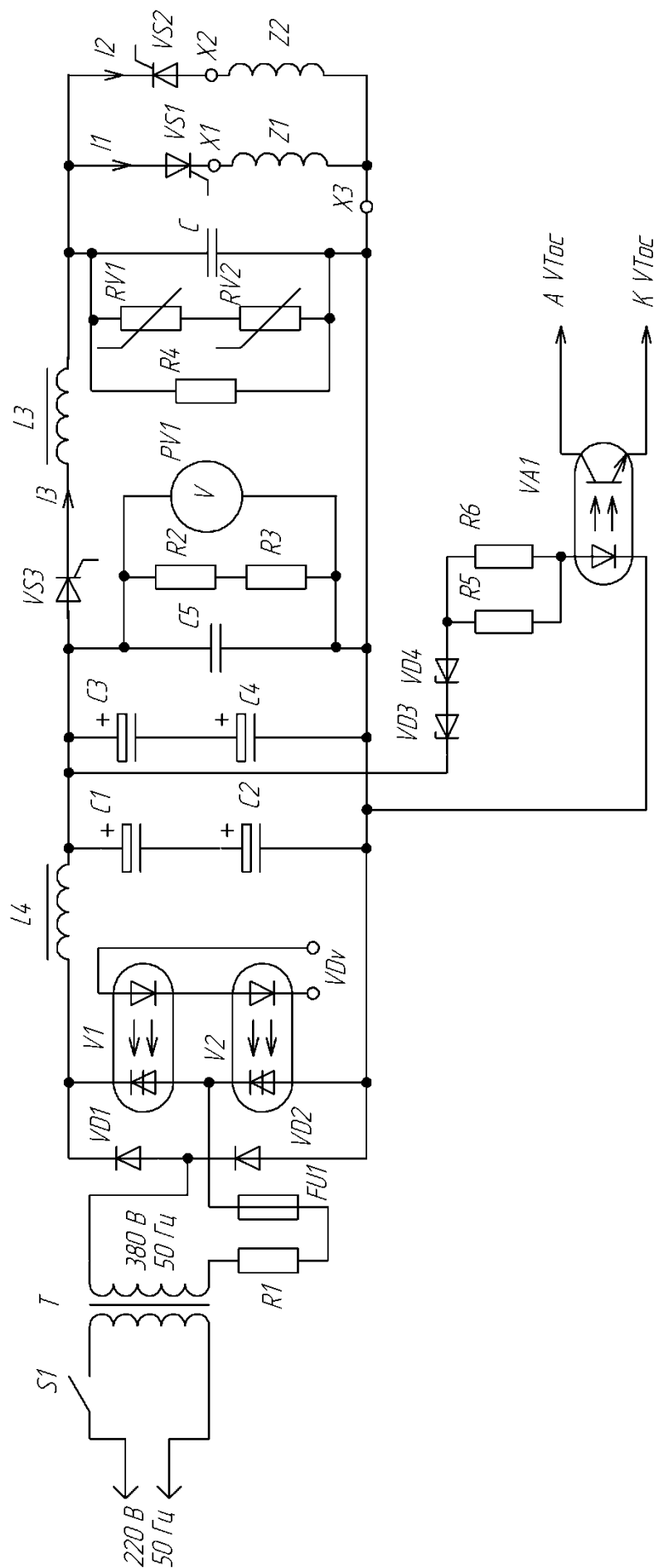


Рис. 3.4 – Силовая часть системы питания вибропривода.

3.1.3. Выбор элементов схемы.

В качестве источника питания выбрали однофазную сеть 220В, 50Гц. Для гальваноразвязки и увеличения напряжения применили повышающий однофазный трансформатор Т [21]: номинальное первичное напряжение – 220В, номинальное вторичное напряжение – 380В, номинальная мощность – 0,63кВА, число фаз – 1. Напряжение с трансформатора выпрямляется управляемым мостом на диодах VD1 и VD2 и двух оптотиристорах V1 и V2. Для удобства выбрали диодный модуль: МДД 80-12, содержащий сразу два диода и тиристорный модуль: МТО ТО1-80-15-3, который также содержит два тиристора сразу. Для защиты схемы модули выбрали на больший ток 80А и напряжение 1200 и 1500В соответственно. Для ограничения бросков тока применяем балластный резистор R1: ПЭ-75-4,7Ом±5% [14]. Для защиты установки применили плавкий предохранитель FU1 типа ПП-61 и автоматический выключатель S1: ВА47-29 С16 [11].

Z1 и Z2 – это соответственно первая и вторая обмотки индуктора.

Из п.2 нам известен амплитудный ток, протекающий по обмоткам $I_m=62\text{А}$, напряжение $U=484\text{ В}$, а также, исходя из диаграмм, период одного импульса $t_{\text{и}}=250\text{ мкс}$. По этим данным выбираем тиристоры VS1 и VS2 с некоторым запасом марки ТБ151-63-9-454 [15] с параметрами: $I_m=63\text{ А}$, $U_m=900\text{В}$.

Исходя из расчетов, ток, протекающий через тиристор VS3 равен 12А, а падение напряжения $U_{\text{vs3}}=1074\text{В}$, и найдя по диаграммам время восстановления запирающих свойств тиристора $t_{\text{пв3}}=200\text{мкс}$, выбрали тиристор Т122-25-12 с параметрами: $I_m=25\text{ А}$, $U_m=1200\text{ В}$.

По расчетам конденсатор С имеет напряжение $U=484\text{ В}$ и емкость $C=10\text{мкФ}$, выбрали конденсатор МБГО-600В-10мкФ±10% [23].

Конденсатор С5, в связи с работой на больших частотах должен быть высокочастотным и хорошо стабилизировать напряжение в схеме. Но такие конденсаторы очень дорогие, поэтому выбрали высокочастотный конденсатор К57-17-1кВ-50мкФ, а для стабилизации напряжения в схеме параллельно ему подключаем две параллельные цепи с электролитическими конденсаторами большой емкости. С1 – С4 – JACKCON-350В-470мкФ, но так как их напряжение мало (не нашли конденсатор нужного напряжения), то С1,С2 и С3,С4 поставили последовательно. Таким образом, за время дозарядки конденсатора С (рис.3.3), напряжение тратится незначительно.

Для защиты от перенапряжения параллельно конденсатору С поставили два варистора, сумма напряжений которых должна быть не менее амплитудного значения напряжения на вторичной обмотке трансформатора: $U=380 \cdot \sqrt{2}=537\text{В}$, марки: TVR204-31-430В.

Для разрядки конденсатора при отключении системы поставили резисторы R2 – R4. Выбираем резисторы типа МЛТ такие, чтобы мощность была меньше 2Вт (т.к. резисторы МЛТ не бывают больше 2Вт). Поставили параллельно конденсатору С резистор R4: МЛТ-2-150кОм±10% [14], а конденсатору С5 – два параллельных резистора R2,R3: МЛТ-2-150кОм±10% .

Для измерения напряжения выбираем вольтметр PV1 на 600 В.

Для ограничения тока ставим дроссель L4, который представляет собой ферритовое кольцо с намотанными на него двумя витками провода.

3.1.4. Расчет зарядного дросселя.

Зарядный дроссель L3 представляет собой кольцо, выполненное из магнитного материала той же марки, что и магнитопровод, т.е. магнитодиэлектрика типа КММ с намотанными n витками изолированного провода.

Зарядный дроссель необходим для обеспечения колебательного процесса при дозарядке конденсатора С, чтобы конденсатор плавно

заряжался до необходимого напряжения. Рассчитаем необходимые параметры для дросселя.

Принимаем значения: внешний диаметр кольца – $D=54$ мм;

внутренний диаметр кольца – $d=28$ мм;

высота кольца – $h=10$ мм;

максимальная магнитная индукция – $B_m=1,3$ Тл.

Находим площадь кольца:

$$S = \frac{D-d}{2} \cdot h = \frac{54-28}{2} \cdot 10 = 130 \text{ мм}^2 \quad (3.1)$$

Средняя длина пути прохождения магнитного потока:

$$l_{cp} = \pi \cdot \frac{D+d}{2} = 3,14 \cdot \frac{54+28}{2} = 128,7 \text{ мм} \quad (3.2)$$

Объем кольца:

$$V = S \cdot l_{cp} = 130 \cdot 10^{-6} \cdot 128,7 \cdot 10^{-3} = 16,745 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 \quad (3.3)$$

Исходя из того, что мы не знаем точного значения магнитной проницаемости материала μ , проведем исследования. Намотали на кольцо 75 витков ($w=75$) и разрядили на него с перезарядом конденсатор емкостью $C=50$ мкФ, заряженный до напряжения 23В. В результате получили синусоидальный ток с амплитудой $I_m=7$ А, время нарастания тока от нуля до максимума $t=0,2$ мс.

Из-за того, что $t=0,2$ мс – это четверть периода, весь период колебаний равен: $T=4 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3}$

Период колебаний вычисляется по формуле:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}$$

Исходя из этой формулы найдем индуктивность дросселя:

$$L = \frac{T^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot C} = \frac{0,8 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 10^{-6}} = 0,324 \text{ мГн} \quad (3.4)$$

При помощи формулы: $L=w^2 \cdot G$ рассчитаем магнитную проводимость:

$$G = \frac{L}{w^2} = \frac{0,324 \cdot 10^{-3}}{75^2} = 5,76 \cdot 10^{-8} \text{ Гн} \quad (3.5)$$

При помощи формулы, определяющей магнитную проводимость:

$$G = \mu \cdot \mu_0 \cdot \frac{S}{l_{cp}}, \text{ рассчитываем магнитную проницаемость } \mu:$$

$$\mu = \frac{G \cdot l_{cp}}{S \cdot \mu_0} = \frac{5,76 \cdot 10^{-8} \cdot 0,129}{1,3 \cdot 10^{-4} \cdot 3,14 \cdot 10^{-7}} = 45,4 \quad (3.6)$$

Теперь, зная истинную магнитную проницаемость, рассчитаем необходимые параметры зарядного дросселя.

Находим индуктивность дросселя:

$$L = \frac{t_p^2}{\pi^2 \cdot C} = \frac{150 \cdot 10^{-6}}{3,14 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} = 0,282 \text{ мГн} \quad (3.7),$$

где t_p – время, в течение которого протекает ток по зарядному дросселю, т.е время импульса зарядного тиристора (рис.3.3).

Зная необходимую индуктивность, рассчитаем число витков дросселя:

$$w = \sqrt{\frac{L}{G}} = \sqrt{\frac{0,282 \cdot 10^{-3}}{5,76 \cdot 10^{-8}}} = 60 \text{ витков}$$

Рассчитываем ток насыщения дросселя:

$$I_m = \frac{B_m \cdot l_{cp}}{\mu \cdot \mu_0 \cdot w} = \frac{1,3 \cdot 0,129}{45 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 60} = 49,4 \text{ А} \quad (3.8)$$

Максимальная запасаемая энергия в дросселе:

$$W_m = \frac{B_m^2 \cdot l_{cp} \cdot S}{2 \cdot \mu \cdot \mu_0} = \frac{1,3^2 \cdot 0,129 \cdot 130 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 45 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7}} = 0,25 \text{ Дж} \quad (3.9)$$

3.2. Система управления

3.2.1. Структурная схема системы управления

Схема управления состоит из нескольких составляющих (рис.3.5.)

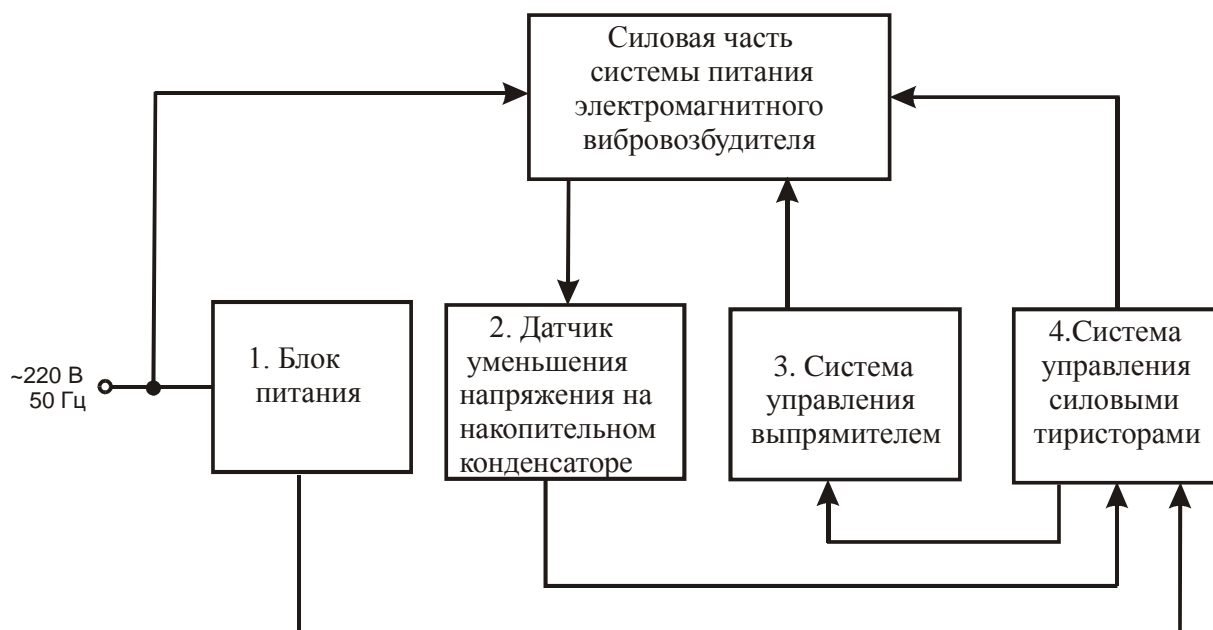


Рис. 3.5. – Структурная схема системы управления.

Полная схема системы управления, разработанная в данном разделе изображена на рис. 3.6.

3.2.2. Блок питания.

Для работы системы питания ей будет необходимо напряженье +15В. Выберем готовый адаптер на +15В, работающий от сети 220В. В результате обзора продаваемых блоков питания выбрали типа:

БПС 15-0.8 (штекер 5.5x2.5, Б)

Блок питания (адаптер) БПС 15-0.8 (15В, 0.8А, 12Вт) предназначен для питания оборудования и бытовой аппаратуры постоянным стабилизированным напряжением 15В.

Напряжение питания: 220В ±10%, 50Гц.

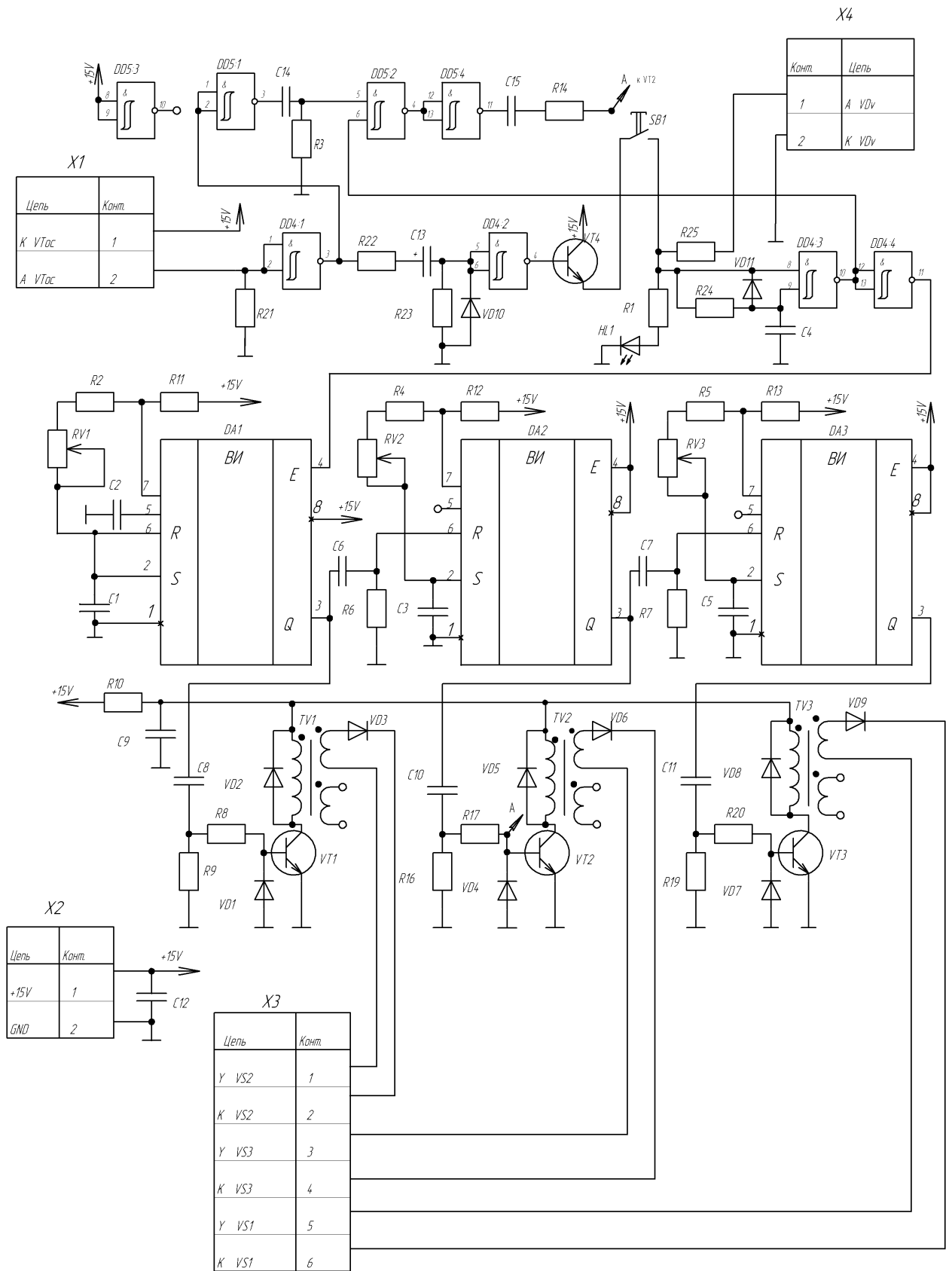


Рис. 3.6. – Система управления системы питания.

3.2.3. Система управления выпрямителем.

Система подключена к промышленной сети переменного напряжения 220В. Входное напряжение, проходя через мостовой выпрямитель, выпрямляется. Управляющий импульс подается на оптопару VA1. Конденсатор C1 заряжается по цепи: “сеть” – VD1 – R1 – VA1 – R2 – RV1 – C1 – VD4 – “сеть”. Если не подать сигнал на выводы VDv оптопары, оптопара не откроется, конденсатор C1 заряжаться не будет, тиристоры открываться не будут.

3.2.4. Датчик уменьшения напряжения на накопительном конденсаторе C5 (рис.3.4).

Если по какой-то причине зарядный тиристор VS3 на силовой схеме системы питания (рис.3.4) не успеет закрыться, а тиристор VS1 в положенное ему время откроется, то произойдет короткое замыкание, характеризующееся уменьшением напряжения на конденсаторе C5. Возникает необходимость выключения схемы. Для этого необходимо убрать управляющий импульс с выходов управления на силовой части системы питания. Выводы датчика подключаются к накопительному конденсатору C5. Когда напряжение большое, оптопара VA2 открыта, ток протекает по цепи: +Uс, VD3, VD4, R5-R6, VA1, -Uс. Когда напряжение на конденсаторе станет меньше напряжения на двух стабилитронах VD5, VD6, они закроются и ток по цепи протекать не будет. Оптопара закрывается и сигнал о снижении напряжения на конденсаторе C5 подается в систему управления для прекращения работы системы питания.

3.2.5. Система управления силовыми тиристорами

Для управления силовыми тиристорами в схеме используются три интегральных таймера КР1006ВИ1 [3]. При подаче разрешающего импульса с DD4(11) схема управления начинает работу. Первый таймер DA1 задает

период $T_1=1000 - 3300$ мкс (рис.3.3). По положительному фронту импульса первого таймера в момент времени t_1 (рис.3.7) запускается второй таймер DA2, выдавая на выходе "0" на время работы $T_1=150 - 300$ мкс. А по положительному фронту второго таймера, в момент времени t_2 запускается третий таймер DA3, на выходе которого в течение работы $T_2=300$ мкс, удерживается "0". Положительный фронт таймеров DA1, DA2, DA3 приводит к подаче управляющих импульсов на тиристоры VS2, VS3, VS1 соответственно.

Рассмотрим работу первого таймера DA1.

На выводы 2, 6 таймера DA1 подается напряжение с конденсатора C1. Когда оно станет меньше, чем $U=+5$ В, конденсатор C1 начинает заряжаться по цепи +15, R11, R2, RV1, C1. Когда он зарядится до напряжения $U=+10$ В, конденсатор C1 начинает разряжаться по цепи C1, RV1, R2, DA1(7). На выходе таймера DA1(3) появляется ступенчатый сигнал логической единицы "1" (рис.2.11). Ток протекает через конденсатор C8, резистор R8, открывая транзистор VT1. Тогда ток, проходя через гальваноразвязывающий трансформатор TV1, подается на выходы управления силовым тиристором VS2. RC – фильтр R10, C9 необходим для фильтрации напряжения. Для ограничения больших токов ставим R8. Для защиты транзистора VT1 от пробоя ставим обратные диоды VD1, VD2. Вращение подстроечного резистора RV1 позволяет регулировать частоту открытия тиристора VS1.

Работа остальных таймеров аналогична первому.

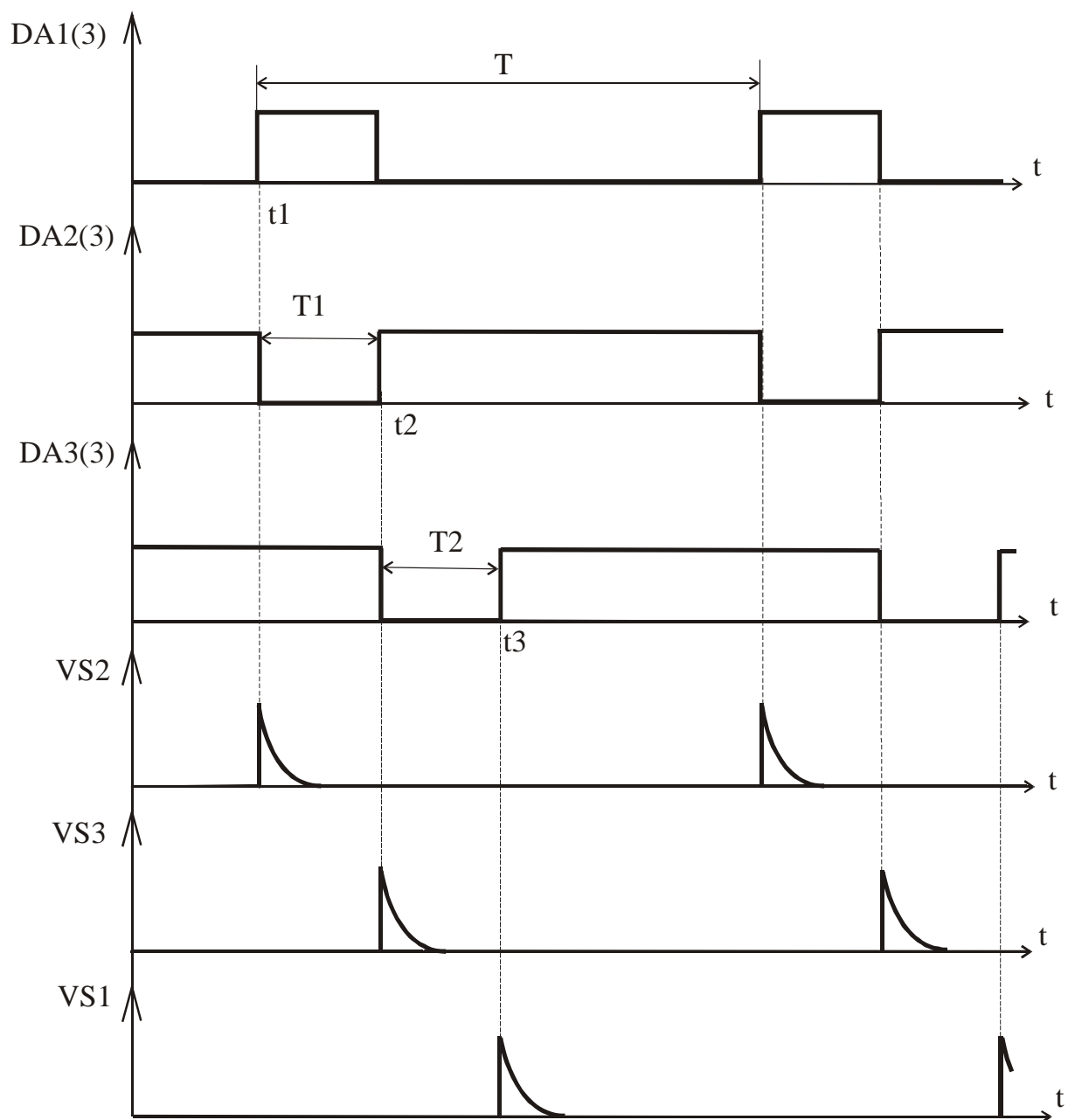


Рис. 3.7 – Временные диаграммы работы интегральных таймеров.

3.2.6. Средства защиты системы управления.

Когда оптопара VA2 датчика уменьшения напряжения на накопительном конденсаторе C5 закрыта, на выходе DD4(3) (рис.3.6.) появляется “лог.1”. Через дифференцирующую цепочку C13, R23, “лог.1” появляется на DD4(5), на базу усилительного транзистора VT4, включенного по схеме эмитерного повторителя приходит “0”. Тогда, даже если кнопка SB1

включена, на выходе DD4(11) – “лог.0”, разрешения на работу схемы управления нет; управляющий импульс на схему управления выпрямителем не подается и силовые тиристоры открываться не будут.

При включении – отключении кнопки SB1, возможен ее дребезг, вследствие чего может возникнуть появление нестабильного разрешающего импульса на выходе DD4(11). Чтобы этого не происходило, создали схему защиты от дребезга кнопки включения. В нее входят демпфирующая цепочка C13, R23 и сглаживающий фильтрующий конденсатор C4, которые гасят нежелательные перепады “1”– “0”.

При первом заряде конденсатора C на зарядном дросселе L3 возникает большой скачок тока, который может привести к сбою в работе системы. Для разрешения этой проблемы, выводы микросхемы DD5(1,2) подсоединили к выводу микросхемы DD4(3), а вывод DD5(6) – к схеме защиты от дребезга кнопки включения – DD4(12,13). Поставили дифференцирующие цепочки, подсоединенные к базе транзистора VT2, отвечающего за зарядный тиристор VS3. Они позволяют вместо длинного импульса на базу транзистора VT2 подать короткий импульс. При этом зарядный тиристор VS3 однократно открывается, подзаряжая конденсатор C до напряжения около 200В. Это приводит к уменьшению броска тока при его последующем открытии.

Такие средства защиты позволяют предохранить систему питания от нежелательных воздействий, способных привести ее к нерабочему состоянию.

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе осуществлена разработка, расчет и математическое моделирование магнитной системы вибрационного привода; разработана система его питания (силовая часть и система управления). Предлагаемый вибропривод обладает лучшими параметрами по сравнению с пневматическим дебалансным вибратором, применяемым в установке химической промышленности на данный момент, такими как

- хорошая управляемость - возможность изменения частоты вибраций от 300 до 1000 Гц,
- не потребляет из сети реактивной мощности,
- экологически и пожаробезопасный проект, лишенный недостатков вибраторов, применяемых ранее.

Силовая часть системы питания реализована на надежных полупроводниковых элементах – тиристорах. Система питания построена на дискретных элементах, например интегральный таймер КР1006 ВИ. Такое решение (по сравнению с использованием микроконтроллеров) позволяет создавать системы с хорошей надежностью и помехозащищенностью.

Список литературы

1. Аксенов А.И., Нефедов А.В. Отечественные полупроводниковые приборы. Справочное пособие., М.: СОЛОН., 2013 г.
2. Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. 2012. – 304 с.
3. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника: Учеб. пособие для приборостроит. спец. вузов. – М.: Высш. шк. 2011. – 622 с.
4. Забродин Ю.С. Промышленная электроника. – М.: Высш. Школа, 1982. 496 с.
5. Интегральные микросхемы: Справочник / Б.В. Тарабрин, Л.Ф. Лунин, Ю.Н. Смирнов и др.; Под ред. Б. В. Тарабрина. – 2-е изд., испр. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 528 с., ил.
6. Кузнециков С.Ю. Магнитопроводы из композиционных магнитомягких порошковых материалов // Электротехника 1994г. №8, С.54
7. Методы проектирования электромеханических вибровозбудителей. Божко А.Е., Пермяков В.И., Пушня В.А. Отв. Ред. А.Н. Подгорный; АН УССР Институт машиностроения. – Киев: Наук.думка, 1989. – 208с.
8. Микросхемы и их применение: Справочное пособие / В.А. Батушев, В.И. Вениаминов и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1984 – 272с.,ил.
9. Мощные полупроводниковые приборы: Диоды: Справочник / Б.А. Бородин, Б.В. Кондратьев, В.М. Ломакин и др.; Под ред. Голомедова. – М.: Радио и связь, 1985. – 400 с.
10. Намитоков К.К. и др. Аппараты для защиты полупроводниковых устройств/ К.К. Намитоков, Н.А. Ильина, И.Г. Шкловский. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 280 с.

11. Поллер З. Химия на пути в 3-е тысячелетие. – М.: Мир, 1991. – 246 с.
12. Резисторы: справочник / Ю. Н. Андреев, А. И. Антонян, Д. М. Иванов и др.; Под ред. И. И. Четверткова. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 352 с.
13. Силовые полупроводниковые приборы. Пер. с англ. Под ред. В.В. Токарева. Первое издание. – Воронеж: «Элист», 1995 г. – 664 с.
14. Справочник разработчика и конструктора РЭА. Элементная база/ Масленников М.Ю., Соболев Е.А., Соколов Г.В. и др.; Под ред. Масленникова М.Ю. М.: Радио и связь, 1996.
15. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство. Пер. с нем. – М.: Мир, 1982. – 512 с., ил.
16. Транзисторы малой мощности: Справочник/Под ред. А. В. Голомедова. – М.: Радио и связь, 1989.
17. Трансформаторы и преобразователи «Электроагрегат». Каталог. – Санкт Петербург.: Электроагрегат, 2013 г. 38 с.
18. Шило В.Л. Популярные микросхемы КМОП. Справочник. – М.: Изд-во «Ягуар», 2013. – 64 с.
19. Электрические конденсаторы и конденсаторные установки: Справочник /В.П. Берзан, Б.Ю. Геликман, М.Н. Гураевский и др.: Под ред. Г.С. Кучинского. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 656 с., ил.
20. www.platan.ru
21. www.chip-dip.ru
22. Миловзоров О. В. Электроника : учеб. для вузов / О. В. Миловзоров, И. Г. Панков. - Изд. 4-е, стер. ; Гриф МО. - М. : Высш. шк., 2008. - 288 с.
23. Б.В. Тарабрин, С.В. Якубовский, Н.А. Барканов и др.: справочник по интегральным микросхемам. – М.: Энергия, 1980. – 816 с., ил.

24. Воронин, П.А. Силовые полупроводниковые ключи: семейства, характеристики, применение/ П.А. Воронин. - М.:Издательский дом “Додека-XXI”, 2001. – 384 с.

25. Зиновьев, Г.С. Основы силовой электроники: учеб.пособ./ Зиновьев, Г.С. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. - 664с.

26. Ямпурин Н. П. Электроника [Электронный ресурс] : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Н. П. Ямпурин, А. В. Баранова, В. И. Обухов. - М. : Академия, 2011.