Министерство образования и науки Украины

РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА ПО КУРСОВОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ

на тему:

“ИМПУЛЬСНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР”

по дисциплине

“ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА ЭЛЕКТРОННЫХ АППАРАТОВ”

2010

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

1. ОБЗОР АНОЛОГИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

* 1. Понятие импульсного трансформатора
	2. Общие конструктивные схемы и классификация импульсных трансформаторов
	3. Изоляция проводов и обмоток
	4. Сердечник импульсного трансформатора
	5. Тепловой режим импульсного трансформатора

2. КОНСТРУКТОРСКИЙ РАСЧЕТ

2.1 Определение средней мощности и токов трансформатора

2.2 Тип импульсного трансформатора

2.3 Выбор приращения и толщины материала сердечника

2.4 Определение поперечного сечения стержня и средней длины магнитопровода сердечника трансформатора

2.5 Определение числа витков обмоток трансформатора

2.6 Определение сечения и диаметра проводов обмоток

2.7 Укладка обмоток и уточнение размеров окна сердечника

2.8 Средние длины витков обмоток трансформатора

2.9 Масса меди и активные сопротивления обмоток

2.10 Потери в обмотках

2.11 Масса материала сердечника

2.12 Магнитные потери в сердечнике

2.13 Коэффициент полезного действия трансформатора

2.14 Намагничивающий ток трансформатора

2.15 Коэффициент плоской части импульса

2.16 Проверка трансформатора на нагревание

2.17 Параметры трансформатора и проверка искажения импульса

3. ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ КОНСТРУКЦИИ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

ВВЕДЕНИЕ

Импульсные трансформаторы применяют в современных устройствах радиоэлектроники, летательных аппаратах, автоматике, установках связи, а также в других областях техники. Это связано с тем, что при проведении различных электрофизических экспериментов необходимы электрические токи, достигающие сотен килоампер при напряжениях до нескольких мегавольт.

Режим, когда мощность генерируется и потребляется в течение небольшого интервала времени, принято называть импульсным. Импульсы могут иметь разную форму, и характер последовательности импульсов также может быть разным. Мощности и напряжения импульсов могут изменяться в весьма широких пределах.

Часто рассматриваются импульсные режимы, в которых длительность импульса мала по сравнению с периодом их повторения, а форма близка к прямоугольной. Именно в таком режиме работают мощные импульсные устройства.

Для преобразования напряжений в импульсной технике широко применяется импульсный трансформатор, который служит для трансформации кратковременных периодически повторяющихся импульсов напряжения приблизительно прямоугольной формы порядка нескольких микросекунд и менее.

В данной работе будет произведено проектирование малого импульсного трансформатора.

Проектирование ИТ состоит в решении комплекса взаимосвязанных частных технических задач. К ним относятся: задача о принципиальной возможности реализации ИТ, удовлетворяющего требованиям в отношении искажений формы трансформированного импульса; выбор конструктивной схемы активной части и общей компоновки ИТ, схемы и конструкции обмоток, изоляционных, магнитных материалов, организация режима работы и режима охлаждения, расчет конструктивных параметров обмоток, изоляции, электромагнитных и тепловых режимов; выбор типовых элементов, оценка технико-экономических и функциональных показателей спроектированного ИТ.

Решаемые в процессе проектирования задачи отличаются противоречивостью. Так, например, любые изменения конструкции ИТ, направленные на уменьшение искажений фронта трансформированного импульса или увеличение его напряжения, приводят к снижению всех, без исключения, технико-экономических показателей ИТ.

Проектирование ИТ включает в себя следующие основные этапы: анализ исходных данных и патентно-информационный поиск с целью выявления, аналогов; оценку выполнимости требований; расчет электромагнитных параметров схемы замещения и установление принципиальной возможности или невозможности реализации ИТ с заданными параметрами искажений формы трансформированного импульса; выбор конструктивной схемы ИТ; расчет или выбор главных размеров, обмоток, числа витков; разработку мер по нормализации теплового режима; выбор конструкции и охлаждающих устройств; расчет, на основании которого вносятся необходимые изменения и уточнения; оценку технико-зкономических и функциональных показателей ИТ; разработку исходных данных.

Цель проектирования ИТ является выбор конструкции, отвечающей функциональным и эксплутационным требованиям и обеспечивающей получение приемлемых технико-экономических показателей.

1. ОБЗОР АНОЛОГИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

1.1 Понятие импульсного трансформатора

При помощи импульсных трансформаторов осуществляется повышение амплитуды напряжения импульса, согласование полных сопротивлений источника напряжений и нагрузки, изменение полярности импульсов.

Коэффициент полезного действия мощного ИТ может достигать 99%, поэтому потерями мощности не определяется принципиальная возможность применения ИТ. Но абсолютная величина потерь пропорциональна частоте повторения импульсов, и при увеличении частоты увеличивается тепловыделение и температура активных частей трансформатора. В связи с этим применение ИТ возможно только при частотах повторения не превышающих 10кГц. Масса и стоимость ИТ обычно меньше массы и стоимости генератора импульсов.

В целом, так же как и силовой трансформатор в промышленной электротехнике, ИТ оказывается практически незаменимым элементом в импульсной электротехнике, чем и обусловлено его широкое применение в импульсных установках.

Принципиальным фактором, определяющим возможность применения ИТ, является способность удовлетворять требованию возможно меньшего искажения передачи формы трансформируемых импульсов напряжения.

Эти искажения возникают как следствие процессов накопления и рассеяния электрической и магнитной энергии в принципиально неустранимых из системы генератор – ИТ – нагрузка (трансформаторной цепи) элементах. Такими элементами являются показанные на схеме замещения трансформаторной цепи (рис. 1.1) емкость контура Cк, емкости монтажа установки См1 и Cм2, емкости нагрузки Cн, индуктивности монтажа Lм1 и Lм2 и не показанные на рисунке электромагнитные параметры ИТ – индуктивности рассеяния и намагничивания и емкости его обмоток. Вследствие того, что искажения трансформаторных импульсов определяются именно этими параметрами трансформаторной цепи, все они характеризуются как паразитные. Соотношение между паразитными параметрами собственно генератора и ИТ может быть различны. В отдельных случаях паразитные параметры генератора и нагрузки оказывают доминирующее влияние на искажение; тогда применение ИТ существенно затрудняется или становится вообще невозможным.

Для уменьшения искажения формы трансформируемых импульсов напряжения необходимо при проектировании импульсных трансформаторов стремиться к возможно большему уменьшению указанных параметров их обмоток путем применения сердечников и специальных магнитных сплавов, а также обмоток надлежащей конструкции. При этом большое значение имеет уменьшение размеров сердечника и числа витков обмоток.

Для анализа переходных процессов в импульсных трансформаторах обычно применяют схему замещения трансформатора (рис. 1.1), учитывающую как паразитные индуктивности, так и емкости обмоток.


##### Рисунок 1.1– Схема замещения трансформаторной цепи

1.2 Общие конструктивные схемы и классификация импульсных трансформаторов

Импульсные трансформаторы отличаются многообразием конструктивного исполнения. Это обусловлено их применением в широком диапазоне энергий, мощностей, напряжений, длительностей импульсов, различиями в назначении и условиях эксплуатации. Тем не менее, несмотря на это многообразие, все конструктивные схемы ИТ можно свести к четырем основным: стержневой, броневой, бронестержневой и тороидальный. Таким образом, по конструктивным признакам ИТ можно классифицировать как стержневые, броневые, бронестержневые и тороидальные. Форма поперечного сечения МС у них может быть прямоугольной или круговой.

Характерная конструктивная особенность ИТ – относительно малое число витков в его обмотках. По этой причине объем проводниковых материалов обмоток ИТ намного меньше объема МС и в качестве обобщающего технико-экономического показателя конструкции ИТ естественно принимать объем его МС. Если принять такой показатель качества, то так как не все конструкции в этом отношении равноценны, ведь в каждой из них эффективно используется только та часть объема МС, которая заключена внутри обмоток, внешние части МС, т.е. ярма, служат только для проведения рабочего магнитного потока ИТ, а поперечное сечение постоянно по длине, то эффективность использования МС можно охарактеризовать коэффициентом использования длины λ = h/l, где под высотой обмотки h понимается суммарная высота катушек. Максимальные значения этого коэффициента составляют: для тороидальной МС – 0.95; для стержневой – 0.6; для броневой и бронестержневой – 0.3. Таким образом, наиболее экономичны ИТ тороидального типа, относительно экономичны – стержневого и менее всего экономичны – броневого и бронестержневого. Если учесть, что конструктивно и технологически стержневые, броневые и бронестержневые ИТ примерно равноценны, то следует вывод о целесообразности применения тороидальных и стержневых МС в ИТ, особенно мощных, отличающихся большим объемом МС.

Коэффициент использования длины МС можно повысить, увеличив высоту стержня или диаметр МС. Однако такие вытянутые в высоту или увеличенного диаметра конструкции имеют большие габариты, менее прочны, нетехнологичны, для них характерен повышенный расход проводниковых материалов, потери мощности в обмотках, искажения трансформированных импульсов и другие недостатки. Однако наиболее важно то, что высшие функциональные показатели достигаются в конструкциях ИТ с максимальной большой площадью сечения и минимальной длиной МС. В связи с этим коэффициент использования длины МС является показателем относительным и характеризует только степень конструктивного совершенства ИТ.

Облегчает классификацию следующее соображение. Характерным признаком класса напряжения является тип и конструкция главной изоляции ИТ, в сильной степени определяющая собой и конструкцию ИТ в целом. Так, в ИТ на напряжение до 20 кВ удается применять сухую изоляцию из слоистых диэлектриков, в некоторых случаях – воздушную при нормальном давлении. В интервале напряжений 20 … 100 кВ обычно применяют бумажно-масляную или бумажно-пленочно-маслянную изоляцию. При напряжении более 100 кВ лучшие результаты дает применение чисто масляной изоляции. Поэтому, несмотря на определенную условность, целесообразно ввести такую классификацию по классу напряжения, чтобы значения напряжения отражало и конструктивные особенности изоляции, т.е. в следующем виде: ИТ класса напряжения до 20 кВ; ИТ класса напряжения до 100 кВ; ИТ класса напряжения свыше 100 кВ. [2]

1.3 Изоляция проводов и обмоток

Обмотки ИТ должны удовлетворять следующим основным требованиям: быть достаточно электрически прочными, изоляция обмоток должна выдерживать без повреждений длительное воздействие номинальных рабочих напряжений и кратковременное воздействие повышенных напряжений в возможных аварийных ситуациях; иметь минимальную индуктивность рассеивания, динамическую емкость и сопротивление; быть достаточно прочными механически, обладать виброустойчивостью и выдерживать воздействие значительных электродинамических сил, возникающих как в нормальном режиме работы, так и, особенно, при коротких замыканиях цепи нагрузки.

Требования высокой электрической прочности и минимальной индуктивности рассеяния взаимно противоречивы, так как для увеличения электрической прочности необходимо увеличивать толщину и изоляции, в то время как для уменьшения индуктивности рассеяния требуется уменьшать толщину. Уменьшение емкости обмоток, в свою очередь, находится в противоречии с требованием минимальной индуктивности рассеяния. Однако в большинстве случаев уменьшение индуктивности рассеяния является более важной задачей, чем уменьшения емкости. По этим причинам размеры изоляционных промежутков обычно доводят до возможного минимума, определяемого необходимой электрической прочностью обмоток. Уменьшить емкость стремятся применением изоляционных материалов с возможно меньшей диэлектрической проницаемостью, а также за счет конструктивных факторов. Итак, главные требования к изоляционным материалам состоят в малой диэлектрической проницаемости и пригодности для режимов с высокой напряженностью электрического поля.

При больших токах и длительности импульса применяют провода более экономичного прямоугольного сечения или тонкие и широкие медные шины из фольги, иногда из нескольких слоев, проложенных изоляцией.

Практика конструирования ИТ показала, что лучшими изоляционными материалами, наиболее полно удовлетворяющим перечисленным требованиям, являются трансформаторное масло, кабельная и трансформаторная бумага, пропитанная трансформаторным маслом, электрокартон, пленки из фторопласта, чередующиеся со слоями бумаги, органическое стекло. В качестве несущих элементов конструкции – бумажно-бакелитовые трубки и цилиндры, сборные каркасы из органического стекла.

Фторопластмассовые пленки следует применять лишь в таких ИТ, у которых температура обмоток может превышать 95ºС. Недостаток пленок в том, что по ним в продольном направлении легко развивается поверхностный разряд. Органическое стекло широко применяется в ИТ вследствие высоких изоляционных свойств и возможности механической обработки.

При напряжениях 100 кВ целесообразна изоляция в виде чистого трансформаторного масла. В отличие от слоистой чисто масляная изоляция в высокой степени однородна по свойствам. Это позволяет в конструкциях с ослабленным краевым эффектом практически полностью использовать высокие электроизоляционные свойства трансформаторного масла. Кроме этих масляная изоляция имеет еще и другие важные достоинства. Трансформаторное масло обладает хорошей текучестью и может свободно конвектировать в пространстве между обмотками и МС. Следствием этого, а также высокой теплоемкости масла является хороший отвод теплоты от обмоток и МС. Диэлектрическая проницаемость трансформаторного масла примерно в два раза меньше, чем у изоляционной бумаги и электрокартона. Это позволяет во столько же раз уменьшить емкость обмоток ИТ. Важным эксплутационным достоинством масляной изоляции является также ее восстанавливаемость после кратковременных аварийных состояний (единичный пробой или искрение). Легко осуществима также и замена масла при регламентных работах. Таким образом, при большой мощности и напряжении масляная изоляция является наиболее целесообразным типом изоляции в ИТ. Однако ее применение возможно только в специально разработанных конструкциях, в которых, обеспечена свободная циркуляция масла и отсутствуют пути для распространения поверхностного разряда.

Обмотки ИТ отличаются относительно небольшим числом витков. Однако напряжения на обмотках обычно измеряются десятками и сотнями киловольт, вследствие чего напряжение, приходящиеся на один виток обмотки (витковое напряжение), может составлять единицы, а в мощных ИТ – даже десятки киловольт.

Поэтому при конструировании обмоток ИТ приходится уделять особое внимание межвитковой изоляции обмоток. Для обеспечения требуемой электрической прочности межвитковой изоляции в обмотках ИТ используют провода с усиленной изоляцией, в основном марок ПЭВ-2, ПБ, ПБУ. Провода круглого сечения ПЭВ-2 обычно применяют в ИТ малой и средней мощности, а также во вторичных обмотках мощных высоковольтных ИТ. Провода прямоугольного сечения ПБ, ПБУ, способны выдерживать межобмоточное напряжение 10 кВ, применяют в первичных обмотках ИТ средней мощности и в обеих обмотках весьма мощных ИТ.

В целом, рассматривая обмотки мощных высоковольтных ИТ, необходимо отметить следующее. Принципиальная необходимость малоискаженной трансформации весьма коротких импульсов вынуждает конструировать ИТ с очень малой индуктивностью рассеяния и емкостью обмоток, а следовательно, с минимальным размером обмоток, в частности с минимальными размерами изоляционных промежутков. [2]

1.4 Сердечник импульсного трансформатора

Материалом для сердечников импульсного трансформаторов обычно служит листовая горячекатаная электротехническая сталь марки Э44 и холоднокатаная сталь марок Э310 и Э340 толщиной листа 0.1…0.2 мм. Также применяются специальные магнитные сплавы примерно такой же толщины. Данные материалы выпускаются в листах и в виде ленты. Они обладают повышенными магнитными качествами. В качестве изоляции между листами сердечника трансформатора служат порошкообразная окись кремния или магния и оксидная изоляция. Из-за малой толщины листов коэффициент заполнения поперечного сечения сердечника сталью в импульсных трансформаторах несколько меньше, чем в обычных, и составляет величину kз=0.8…0.9.

Из трансформаторных сталей в ИТ наибольшее распространение получила сталь 3425. Однако вследствие обычно значительного эффекта вихревых токов, особенно при малой длительности импульсов, кажущаяся магнитная проницаемость оказывается примерно на порядок меньше средней. Поэтому реальное преимущество стали 3425 по сравнению с другими электротехническими сталями состоит только в большей индукции насыщения.

При большой частоте повторения и малой длительности импульсов мощность потерь может оказаться очень большой, что приведет к трудностям с охлаждением МС. В таких случаях целесообразно применение в МС пермаллоев марок 38НС, 42НС, 50НХС, 80НХС с относительно высоким удельным электрическим сопротивлением.

Для сердечников малых импульсных трансформаторов в последнее время используют феррит. По своим магнитным свойствам ферриты относятся низкокоэрцитивным магнитным материалам, занимающим промежуточное положение между металлическими и магнитными материалами, и магнитодиэлектриками. Благодаря высокому удельному электрическому сопротивлению ферритов потери на вихревые токи в них в переменных полях при больших частотах получаются небольшими. Ферриты имеют мелкозернистую структуру, обладают значительной твердостью.

Все эти магнитные материалы пригодны для использования в ИТ. Определяющими возможность их применения факторами является допустимое приращение индукции, удельное электрическое сопротивление и толщина листов. Если эти характеристики магнитного материала соответствуют установленным критериям, то в электромагнитном отношении совершенно безразлично, какой из этих материалов будет применен в МС ИТ. Существенными являются только конструктивные и технологические факторы, определяющие ту или иную степень производительной сложности изготовления МС из тонких листов.

Особенностью конструкций малых импульсных трансформаторов является компактность их сердечника и индуктивности рассеяния и распределенной емкости. [2]

1.5 Тепловой режим импульсного трансформатора

Тепловые процессы в ИТ протекают точно также как и в силовом трансформаторе. Потери мощности в МС и обмотках преобразуется в теплоту и вызывает нагрев соответствующих частей ИТ. От мест выделения теплота под действием теплового градиента направляется к тем местам, где она может быть передана охлаждающей среде, воздуху или воде, в зависимости от способа охлаждения. Рассеивание теплоты происходит посредством лучеиспускания и конвекции.

Температура трансформатора должна быть в допустимых пределах. Так температура трансформаторного масла не должна превышать 95 градусов, температура обмоток – предельных допустимых температур для изоляционных материалов. Температура окружающего воздуха определяется условиями эксплуатации ИТ и может достигать 50 градусов. Площадь поверхности охлаждения каждого элемента конструкции, рассеивающего теплоту, должна быть достаточной для поддержания перепада температур в заданных пределах.

Главными источниками тепловыделения в ИТ являются МС и обмотки.

Теплота, выделяющаяся в МС, может передаваться как вдоль, так и поперек листов или лент. Вдоль листов благодаря высокой теплопроводимости трансформаторной стали теплота передается практически беспрепятственно. В поперечном направлении теплота передается в 5…15 раз хуже из-за относительно высокого теплового сопротивления межлистовой изоляции.

Из-за высокой частоты повторений импульсов и больших потерь на вихревые токи, ИТ обычно характеризуется большими тепловыми нагрузками поверхностей охлаждения МС.

В связи с тем, что обмотки в некоторой степени теплоизолируют МС, между ними и МС необходимо создавать охлаждающий масляный канал. По этой причине толщина изоляции между первичной обмоткой и МС оказывается, особенно в мощных ИТ, значительно большой, чем это необходимо для получения достаточной электрической прочности изоляции первичной обмотки. Это следует учитывать при конструктивном расчете ИТ. Увеличение толщины изоляции первичной обмотки имеет некоторое положительное значение, так как благодаря этому уменьшается емкость первичной обмотки. Для ИТ с небольшим коэффициентом трансформации, и особенно для понижающих напряжение ИТ, уменьшение емкости может быть важным фактором и должно учитываться при конструктивном расчете ИТ.

Вследствие значительного эффекта вихревых токов, особенно при импульсах малой длительности, основное количество теплоты выделяется в МС, и поэтому главные трудности вызывает теплоотвод именно в МС.

В целом можно констатировать, что охлаждение мощных ИТ представляет сложную техническую проблему, существенно сдерживающую применение ИТ в импульсных системах большой мощности. [2]

2. КОНСТРУКТОРСКИЕ РАСЧЕТЫ

Исходными данными для расчета импульсного трансформатора являются следующие величины:

- мощность в импульсе P2= 13000 (Вт);

- напряжение в импульсе U1 = 600, U2 = 1800 (В);

- сопротивление источника Ru = 30 (Ом);

- длительность импульса τu= 1.8·10-6 (c);

- частота следования импульсов fn=650 (Гц);

- коэффициент искажения плоской части импульса λ=0.04.

2.1 Определение средней мощности и токов трансформатора

Среднюю отдаваемую мощность импульсного трансформатора можно определить следующим образом:

Pср = fn τu P2 = 650·1.8·10-6·13000= 15.21(Вт) (2.1)

Определяем токи первичной и вторичной обмоток в импульсе:

13000/600=22 (А) (2.2)

13000/1800 = 7.22 (А) (2.3)

Эффективные, или действующие, значения токов первичной и вторичной обмоток импульсного трансформатора определяются из условия, что потери в этих обмотках при прохождении через них коротких прямоугольных импульсов тока обуславливается не только омическими сопротивлениями обмоток, но также влиянием поверхностного эффекта в проводах и влиянием токов наводки в них. С учетом этих явлений действующие значения первичного и вторичного импульсного трансформатора можно представить как:

 = 22∙ 1,43 (А), (2.4)

7,22 = 0.43 (А), (2.5)

где kн =2.4…2.8 – коэффициент, учитывающий ток наводки в проводах обмоток при прямоугольном импульсе токов; kп1 и kп2 – коэффициенты поверхностного эффекта в неизолированных медных проводах круглого сечения, которые предварительно можно принять в следующих пределах: для обмотки низкого напряжения kп1 = 1.2…1.6, а высокого напряжения kп2 = 1.1…1.4.

2.2 Тип импульсного трансформатора

Выбираем сердечник стержневого типа с обмотками, расположенными на одном стержне. Материал сердечника – горячекатаная листовая электротехническая сталь по ГОСТу 802-58 марки Э44. В качестве изоляции между листами сердечника трансформатора служат окислы кремния или магния и оксидная изоляция.

2.3 Выбор приращения и толщины листов материала сердечника

Выбираем априорно величину ΔВс = 0.2 (Тл), в зависимости от мощности и с учетом магнитных характеристик материала сердечника (ΔН=2,1 (А/см)) определяем магнитную проницаемость материала, по формуле (2.6).

 = 0.2 / 2.1 = 0.095 (2.6)

Определяем постоянную времени контуров вихревых токов в сердечнике из условия

 = 1.8·10-6 / 2 = 0.9 (мкс) (2.7)

 (2.8)

где ρс= 0.6·10-4 – удельное электрическое сопротивление материала сердечника для горячекатаной стали марки Э44 (Ом·см2/см).

Определяем толщину листа сердечника:

 = = 0.18(см) (2.9)

2.4 Определение поперечного сечения стержня и средней длины магнитопровода сердечника трансформатора

Отношение поперечного сечения стержня Sc к длине магнитопровода l в трансформаторах стержневого типа находится в пределах (0.18…0.32). Выбираем Ψ=0.25. Определяем поперечное сечение стержня сердечника:

=== 2.3(см2) (2.10)

Средняя длина магнитопровода определяется по формуле:

= 2.3 /0.25 = 9.2 (см) (2.11)

Поперечное сечение стержня и ярма импульсного трансформатора выполняются одинаковыми и прямоугольной формы, при этом соотношение β= bc/ac находится в диапазоне 1…2. Коэффициент заполнения сталью стержня выбирается в пределах kз=0.8…0.9. Выберем для данного случая kз=0.85 и β = 2. Определим размер поперечного сечения стержня:

= = 1,2(см) (2.12)

Определяем размер поперечного сечения ярма:

= = 1.55 (см) (2.13)

2.5 Определение числа витков обмоток трансформатора

Определяем число витков первичной обмотки:

=600·10-2·1.8 / 0.2·2.3 = 23 (2.14)

где τи – заданная длительность импульса, мкс.

Определяем число витков вторичной обмотки:

= 23= 69 (2.15)

2.6 Определение сечения и диаметра проводов обмоток

При мощности в импульсе более киловатта поперечное сечение проводов обмоток выбирается по допустимой плотности тока. В малых импульсных трансформаторах наибольшая плотность тока по условиям допустимого нагрева может быть принята в пределах (2…3) А/мм2 при воздушном охлаждении. Принимаем для данного случая j1=2(А/мм2), j2=3(А/мм2).

Находим предварительные значения поперечных сечений проводов первичной и вторичной обмоток

= 1,43 / 2 = 0.715 (мм2). (2.16)

= 0.43 / 2 = 0.215 (мм2). (2.17)

Следовательно, диаметры проводов обмоток соответственно равны d1=0.95 и d2=0.52. Находим окончательные значения поперечных сечений и диаметров проводов по ближайшим данным ГОСТа 6324-52

dи1= 1.020 (мм) – диаметр провода первичной обмотки в изоляции;

dи2=0.580 (мм) – диаметр провода вторичной обмотки в изоляции;

g1= 0.724 (мм2), g2= 0,22 (мм2) – поперечные сечения проводов первичной и вторичной обмоток.

2.7 Укладка обмоток и уточнение размеров окна сердечника

Для получения возможно меньшей индуктивности рассеяния и уменьшения распределенной емкости между обмотками импульсного трансформатора эти обмотки следует выполнять по возможности однослойными и малослойными. При размещении обмоток на одном стержне, занимаемая, ею по высоте длина составляет:

= 23· 0.1020= 2.346 (см) (2.18)

Расстояние от ярма определяется высшим напряжением обмоток и в данном случае равняется ε1=0.3 (см).

Определяем высоту окна сердечника трансформатора:

= 2,346 + 2·0.2= 2.946 (см) (2.19)

Находим толщину первичной обмотки:

δ1= d1и = 0.1020 (см) (2.20)

Число витков вторичной обмотки в одном слое:

= 2.346 / 0.58 = 40 (2.21)

Определяем число слоев вторичной обмотки при размещении ее на одном стержне

= 69 / 40= 1.725 (2.22)

Определяем толщину вторичной обмотки:

= 1.725·0.58 = 0.1 (см) (2.23)

Определяем сопротивление нагрузки:

= U2 / I2 = 1800 / 7.22 =249 (Ом) (2.24)

Найдем активное сопротивление нагрузки, приведенное к первичной обмотке

= 2492= 22.4 (Ом) (2.25)

Рассчитываем толщину изоляции между обмотками

= = 0.01(см) (2.26)

где ls= l1 – общая длина обмоток по высоте стержня сердечника;

ε = 4 – диэлектрическая проницаемость изоляции.

В качестве изоляции между обмотками возьмем лакоткань ЛШС толщиной δ12 ГОСТ 2214-66.

Определяем ширину окна сердечника трансформатора при размещении обмоток на одном стержне:

= 0.3 + 0.102+ 0.01 + 0.1+ 0.2 = 0.712 (см) (2.27)

где ε0 = 0.3 (см) – толщина изоляции между обмоткой и стержнем;

ε2 = 0.2 (см) – расстояние обмотки до необмотанного стержня.

Отношение высоты окна сердечника к его ширине обычно находится в пределах k = H/C=2…3.

Найдем отношение высоты окна сердечника к его ширине:

= 2.946 / 0.712 = 3 (2.28)

Определяем длину ярма:

= 0.712 + 2·1.2 = 3.1 (см) (2.29)

Находим общую длину магнитопровода сердечника:

=2·(2.946 + 3.1) = 12 (см) (2.30)

Находим окончательное значение отношения поперечного сечения стержня Sc к длине магнитопровода L:

= 2. 3 /12 = 0.19 (2.31)

Ψ = 0.19 – в указанных пределах, следовательно, расчет выполнен правильно.

2.8 Средние длины витков обмоток трансформатора

В импульсных трансформаторах поперечное сечение стержня выполняется прямоугольной формы. Поэтому при однослойных или двухслойных цилиндрических обмотках средние длины витков можно представить в виде:

* для первичной обмотки:

=2·(1.2 + 1.55 + 4·0.3 + 2·0. 1)=8.3 (см) (2.32)

* для вторичной обмотки:

= 2·[1.2 + 1.55 + 4·(0.3 + 0.1 + 0.01) + 2·0.1] = 9.18 (см). (2.33)

* для обеих обмоток:

=( 8.3 + 9.18)/2 = 8.74 (см) (2.34)

2.9 Масса меди и активные сопротивления обмоток

Находим массу меди для первичной обмотки:

Gк1=8.9·W1·g1·lw1·10-5 = 8.9·23·0.724·8.3·10-5 = 0.012 (кг) (2.35)

Находим массу меди для вторичной обмотки:

Gк2=8.9·W2·g2·lw2·10-5 = 8.9·69·0.22·9.18·10-5 = 0.013 (кг) (2.36)

Находим общую массу меди обмоток:

= 0.012 + 0.013 = 0.025 (кг) (2.37)

Определим активное сопротивление первичной обмотки трансформатора:

=1.22·23·8.3 / 5700·0.724 = 0.05 (Ом) (2.38)

Определим активное сопротивление вторичной обмотки трансформатора:

=1.22·69·9.18 / 5700·0.22 = 0.62 (Ом). (2.39)

2.10 Потери в обмотках

В обмотках импульсных трансформаторов проходят короткие прямоугольные импульсы тока, и поэтому потери в них обуславливаются не только омическим сопротивлением, но также явлением поверхностного эффекта в проводах и влиянием тока наводки в них при прохождении по обмоткам тока импульса.

Определяем средние потери мощности в обмотках

= 1.432·0.05 = 0.1 (Вт) (2.40)

= 0.432·0.62 = 0.12 (Вт) (2.41)

= 0.1 + 0.12 = 0.22 (Вт) (2.42)

2.11 Масса материала сердечника

Находим массу сердечника трансформатора стержневого типа

= 7.6·2. 3·12·10-3 = 0.2 (кг). (2.43)

2.12 Магнитные потери в сердечнике

Средние потери на вихревые токи в материале сердечника импульсного трансформатора:

 = 650·1.8·10-6·0.0182·12·6002/12·232·2. 3·0.6·10-4= 0.3 (Вт). (2.44)

где δс – толщина листа сердечника, см;

ρс – удельное электрическое сопротивление материала сердечника, Ом·см2/см;

Sc – поперечное сечения стержня сердечника, см2;

l – общая длина магнитопровода сердечника, см.

Находим среднюю мощность намагничивания материала сердечника импульсного трансформатора:

= 232·0.095·2. 3·10-4 / 12= 0.9·10-3 (Гн), (2.45)

где L1 – общая индуктивность первичной обмотки трансформатора.

= 650·6002·(1.8·10-6)2/0.9·10-3·2 = 0.04 (Вт). (2.46)

2.13 Коэффициент полезного действия трансформатора

При передаче импульсов энергия, затрачиваемая за это время на намагничивание сердечника является энергией потерь, поэтому КПД импульсного трансформатора определяется как

= 15.21·100 / 15.21 + 0.3 + 0.04 + 0.22 = 86, (2.47)

где Pср – средняя отдаваемая мощность, Вт;

Pк – суммарные средние потери в обмотках, Вт;

Рвх – средние потери на вихревые токи, Вт;

Рм – средние потери на намагничивание, Вт.

2.14 Намагничивающий ток трансформатора

Намагничивающий ток состоит из двух составляющих – действительного намагничивающего тока и составляющей, компенсирующей влияние размагничивающего действия вихревых токов в сердечнике трансформатора. Сумма этих составляющих называется током кажущегося намагничивания. Определим намагничивающий ток

= 1.8·10-6·12·10-2·600/ 0.095·232·2. 3 = 0.8 (А) (2.48)

где l – общая длина магнитопровода сердечника, см;

μΔ – магнитная проницаемость материала;

Sс – поперечное сечение стержня сердечника, см2.

2.15 Коэффициент плоской части импульса

Проверяем коэффициент плоской части импульса

= 0.88 / 22 = 0.04 (2.49)

Сравнивая его с исходным λ = 0.04 приходим к выводу, что расчет был произведен правильно.

2.16 Проверка трансформатора на нагревание

Так как потери в обмотках малых трансформаторов относительно малы по сравнению с магнитными потерями в сердечнике, то нагрев обмотки практически не представляет опасности и расчетную проверку их температуры можно не производить. Основные потери энергии в рассматриваемых трансформаторах сосредоточены в их сердечнике, что приводит к заметному нагреванию трансформатора.

Определяем площадь открытой торцевой поверхности сердечника:

=4·1.2·1.55+2·1.55·3.1+1.55·2.946=21.64 (см2) (2.50)

Определяем превышение температуры сердечника над температурой окружающей среды

== 12 град (2.51)

где α0=13·10-4 – коэффициент теплоотдачи открытой торцевой части поверхности сердечника, Вт / см2 град

Scep – площадь открытой торцевой части поверхности сердечника, см2;

2.17 Параметры трансформатора и проверка искажения импульса напряжения

Определяем активные сопротивления обмоток

= 0.62·(23 / 69)2 = 0.0558 (Ом). (2.52)

Определяем эквивалентное активное сопротивление контуров вихревых токов в материале сердечника трансформатора, приведенное к числу витков первичной обмотки

=12·(23)2·2. 3·0.6·10-4 / 0.012·12 = 730(Ом) (2.53)

где δс – толщина листа сердечника, см;

ρс – удельное электрическое сопротивление материала сердечника, Ом·см2/см;

l – общая длина магнитопровода сердечника, см;

Sc – поперечное сечения стержня сердечника, см2.

Находим активные сопротивления упрощенной схемы замещения

 = 30 + 0.05 = 30.05 (Ом) (2.54)

 730·(249 + 0.0558) / (730 + 249 + 0.0558)=22.4 (Ом). (2.55)

Находим электродвижущую силу источника прямоугольных импульсов:

= 30.05/ 24.4 = 1.23 (2.56)

= 1800·23 / 69 = 540 (В) (2.57)

 = 540·(1 + 1.23) = 1204 (В) (2.58)

Индуктивность рассеяния первичной и вторичной обмоток, приведенных к первичной обмотке:

=(0.4·3.14·(23)2·8.74 / 2.346)== 4.2·10-6 (Гн) (2.59)

где lw – средняя длина витка обеих обмоток, см;

ls – общая длина обмоток по высоте стержня сердечника, см;

δ1, δ2 – толщина обмоток, см;

δ12 – толщина изоляции между обмотками, см.

Находим распределенную емкость между обмотками при однослойном и двухслойном исполнении:

 = 0.0855·4·8.74·2.346·10-12/ 0.007= 10.018·10-10 (Ф). (2.60)

Находим волновое сопротивление обмоток трансформатора

= (4. 2·10-6 / 10.018·10-10)1/2 = 64 (Ом) (2.61)

3. ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ КОНСТРУКЦИИ

В целом выбор конструкции ИТ должен производиться с учетом всего комплекса требований, предъявляемых к ИТ, и рассматривается как наиболее ответственный этап проектирования, поскольку в наибольшей мере определяет технико-экономические показатели ИТ, его технологичность, эксплуатационные свойства.

Следует отметить, что пределов совершенствованию технических решений принципиально не существует, и поэтому при выборе конструкции ИТ только правильный подход может привести к лучшим результатам.

Итак, рассчитанный импульсный трансформатор стержневого типа, с обмотками прямоугольного типа, размещенными на одном стержне. Первичная обмотка ИТ – однослойная, а вторичная двухслойная.

Сердечник трансформатора выполнен из горячекатаной листовой электротехнической стали, толщина которой 0.018(см). В качестве изоляции между листами сердечника трансформатора служит порошкообразная окись кремния.

Поперечное сечение стержня трансформатора составляет 2.3Ы (см2), высота окна сердечника - 2.946 (см), длина ярма – 3.1 (см). Масса сердечника данного импульсного трансформатора равна 0.2 (кг).

Обмотки трансформатора выполнены из меди. Первичная обмотка состоит из 23 витков, а вторичная из 69 витков. Диаметр провода с изоляцией первичной обмотки 1.020(мм), а вторичной 0.58 (мм). Толщина первичной обмотки 0.724 (см), а вторичной 0.22 (см), их массы 0.012(кг) и 0.013(кг) соответственно. Общая масса меди 0.025 (кг). В качестве изоляции между обмотками служит лакоткань ЛШС, толщина которой 7·10-3 (см). Обмотки наматываются на каркас, выполненный из электрокартона ЭВ.

Охлаждение импульсного трансформатора – воздушное.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе был проведен расчет импульсного трансформатора. Импульсный трансформатор – это специальный тип трансформатора, который служит для трансформации кратковременных периодически повторяющихся импульсов напряжения приблизительно прямоугольной формы порядка нескольких микросекунд и менее. С помощью импульсных трансформаторов осуществляется повышение амплитуды импульса напряжения, изменение полярности импульса.

Импульсные трансформаторы применяют во множестве современных устройствах радиоэлектроники, летательных аппаратах, автоматике, установках связи, а также в других областях техники.

При расчете маломощных ИТ большей частью приходится исходить из требований обеспечения электрической прочности и нормального размещения обмоток.

Конструктивный расчет ИТ состоит в выборе главных размеров МС и обмоток. Исходными данными для конструктивного расчета, являются значения параметров схемы замещения — индуктивности рассеяния, динамической емкости и индуктивности намагничивания ИТ, полученные в результате электромагнитного расчета по изложенной выше методике.

По проведенному расчету импульсного трансформатора можно сделать вывод о том, что он относится к классу ИТ напряжения до 20кВ. Коэффициент полезного действия ИТ составляет 86 %. Данный ИТ обладает маленькой индуктивностью рассеяния Ls = 4.210-6 (Гн) и распределенной емкостью Cр = 10.01810-10 (Ф), которые являются паразитными параметрами.

У данного ИТ коэффициент искажения плоской части импульса =0.04. Рассчитанный ИТ является малогабаритным.

Недостатком данного ИТ является то, что он нагревается. Этот недостаток можно устранить путем применения масленого охлаждения, но это значительно увеличит сложность и стоимость конструкции.

Этот трансформатор можно отнести к малым импульсным трансформаторам. Благодаря своим небольшим размером данный трансформатор может найти широкое применение.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. “Устройства функциональной электроники и электрорадиоэлементы” Харьков,1988.

2.Вдовин С.С. “Проектирование импульсных трансформаторов” Л.,1991.