**Техническое задание**

на разработку и исследование унифицированных модулей широкополосных трансформаторов типа длинной линии (ТДЛ) для усилителей каналов уплотнения в линиях электропередач.

Область применения

Широкополосный трансформатор типа длинной линии для усилителей каналов уплотнения в линиях электропередач.

Назначение

Разработка и исследование ТДЛ.

Анализ основных перспективных ТДЛ.

Разработка экспериментального широкополосного усилителя на основе ТДЛ.

Технические требования

Перспективный широкополосный трансформатор

коэффициент широкополосности ~10000 раз;

волновое сопротивление ρ - 75(50)Ом;

Экспериментальный усилитель на основе разработанного ТДЛ

напряжение питания при токе потребления 100мА - 15±1В;

коэффициент усиления КУ - 12±1дБ;

коэффициент шума – не более 3.0дБ;

входные и выходные сопротивления – в пределах 30-80Ом;

сопротивления источника сигнала

(генератора) и нагрузки – 75(50)Ом;

нелинейные искажения, оцениваемые

динамическим диапазоном по интермодуляции

третьего порядка – 90-120дБ;

Условие эксплуатации

Нормальные условия ГОСТ 22261-82

температура окружающей среды – (20±5)0С;

относительная влажность воздуха - (30-80)%;

атмосферное давление – (84-106)кПа;

Рабочие условия по ГОСТ 22261-82

температура окружающей среды – (-10 ÷ +45)0С;

относительная влажность воздуха - 60%;

атмосферное давление – (84-106.7)кПа;

частота питающей сети – (50±0.5)Гц;

напряжение питающей сети – (220±10%)В;

Исследуемый широкополосный трансформатор должен обеспечивать максимально широкую полосу пропускания во всем диапазоне частот.

Требования к охране труда

Отразить следующие вопросы: опасные и вредные факторы; меры по их снижению; расчет наиболее опасного фактора; пожарная безопасность.

**Аннотация**

В дипломном проекте исследуются и анализируются вопросы связанные с разработкой широкополосных трансформаторов типа длинной линии (ТДЛ). В результате исследования разработан ТДЛ, удовлетворяющий оптимальным требованиям, предъявляемым к современным широкополосным трансформаторам. Получены рекомендации по использованию ТДЛ в широкополосных усилителях перспективной радиоэлектронной аппаратуры, а так же намечены пути дальнейшего совершенствования трансформаторов подобного типа.

**Annotation**

In the degree project questions connected with development of broadband transformers such as long line (TLL) are investigated and analyzed. As a result of research it is developed TLL, satisfying the optimum requirements showed to modern broadband transformers. Recommendations for use TLL in broadband amplifiers of the perspective radio-electronic equipment and as ways of the further perfection of transformers of similar type are planned are received.

**Введение**

Широкополосные трансформаторы сопротивлений и устройства, выполненные на их основе (сумматоры-делители мощности, направленные ответвители и т.п.), определяют основные показатели разнообразной радиоэлектронной аппаратуры. Сфера использования таких устройств неуклонно расширяется, а требования к ним по ширине рабочего диапазона частот и (или) уровню передаваемой мощности становятся все более высокими.

Выполнение указанных требований немыслимо без знания предельно достижимых параметров устройств разных классов и умения рационально их использовать. Наилучшие показатели достигаются в высокочастотных широкополосных трансформаторных устройствах, выполненных на отрезках линий передачи, соединенных между собой различными способами. Такие устройства приходят на смену двух- и многообмоточным трансформаторам в своём традиционном низкочастотном исполнении. При этом достигается многократное расширение рабочего диапазона частот, а при сопоставлении с традиционными устройствами, образованными путем каскадного соединения четвертьволновых линий, например, ступенчатых переходов, еще и существенное уменьшение габаритов.

Переход к обмоткам, образованным линиями передачи, привел к созданию нового класса устройств, что потребовало разработки их теории, принципов построения и систематизации широкого круга разнообразных схемных решений. Этому и посвящена дипломная работа. Несколько в стороне от основного её направления стоят трансформаторы сопротивлений, выполняемые на сосредоточенных элементах и обладающие фильтрующими характеристиками. Им может быть отдано предпочтение при небольших перекрытиях по частоте и коэффициентах трансформации. С учетом этого и строилось содержание настоящей дипломной работы. При этом схемы трансформаторных устройств на линиях передачи изображались в виде, отражающем конструктивные особенности устройств, что весьма важно для воспроизведения расчетных характеристик с требуемой точностью. Подобные устройства имеют высокий КПД, надежны и способны выполнять функции гальванической развязки и симметрирования. Они являются доминирующим в ВЧ диапазоне и все шире используются в диапазонах ОВЧ и УВЧ. Естественным их недостатком является присутствие магнитопровода.

Первоначально трансформаторы строились как низкочастотные путем раздельного размещения обмоток на магнитопроводе, а для их аналитического описания использовались схемы замещения, содержащие сосредоточенные элементы. Такой общий принцип построения трансформаторов и образование их схем замещения с помощью приближенных «интегральных» параметров обмоток (собственные и междуобмоточные емкости, индуктивности рассеяния) не отражали распределенную структуру обмоток на верхних частотах. Это принципиально не позволяло установить и реализовать предельные характеристики трансформаторов в части максимально достижимой ширины рабочего диапазона частот.

В ходе дальнейших исследований был предложен и развит принцип построения трансформаторов, в качестве обмоток которых стали использовать проводники однородных двухпроводных линий, соединенных с одной их общей стороны параллельно, а с другой — последовательно и согласованных с нагрузкой [10]. Это дало возможность улучшить характеристики устройств па верхних частотах.

В настоящее время широко распространенные схемные и схемно-конструктивные решения для трансформаторов на линиях далеко не исчерпывают своих предельных возможностей. На практике это проявляется в том, что зачастую устройства оказываются с неудовлетворительными электрическими параметрами, с завышенными массогабаритными характеристиками, а в ряде случаев неспособными решить поставленную задачу. С целью преодоления этих затруднений в данной работе сделана попытка, представить в систематизированном виде современные достижения в области широкополосных высокочастотных трансформаторов и устройств на их основе.

**1. Обзор источников информации по разработке и выполнению трансформаторов типа «длинной линии»**

При решении многих практических задач, когда требуемые значения невелики, могут оказаться сопоставимыми варианты осуществления трансформаторов с обмотками на магнитопроводе (а также и без него) и на основе фильтров с сосредоточенными элементами. Подчас требуется совместить трансформацию сопротивлений и частотную селекцию. В известной литературе весьма ограниченно представлены справочные данные и основные положения расчета (синтеза) для трансформаторных структур на сосредоточенных элементах. Вместе с тем достаточно хорошо разработана теория ступенчатых трансформаторов на отрезках линий передачи, подкрепленная обширным справочным материалом.

Широкополосные трансформаторы служат компонентами (парциальными составляющими), из которых в соответствии с тем или иным принципом построения выполняются сумматоры (делители) мощности. Эти устройства используются непосредственно для суммирования-деления мощности, а также в качестве направленных ответвителей (в роли которых выступают устройства неравного деления мощности), дифференциальных трансформаторов и т. п. Кроме того, такие устройства используются для развязывания многополюсных антенных систем, в фазированных антенных решетках (ФАР), в частотно-разделительных устройствах и др.

Для широкополосных многополюсных трансформаторных устройств сохраняется справедливым все сказанное выше относительно широкополосных трансформаторов в части приобретаемых ими новых свойств, необходимости разработки теории устройств, построенных по новым принципам, систематизации широкого круга разнообразных их схем, обусловливающих расширение рабочего диапазона частот и улучшение массогабаритных характеристик. Уровень достигнутых результатов в рамках использования распространенных схемных решений здесь ниже, чем для трансформаторов. Объясняется это тем, что недостатки, присущие трансформаторам как компонентам многополюсных трансформаторных устройств, усугубляются в них, а кроме того, далеко не исчерпаны возможности в части принципов построения самих многополюсных трансформаторных устройств.

Наконец, расширение круга параметров и требований к ним, в частности по развязке между входами, функциональным свойствам, способности распределять мощность между нагрузками, требует разработки принципов построения устройств разных классов, что позволило бы находить оптимальные решения в условиях конкретных задач проектирования аппаратуры. В связи с этим таким многополюсным устройствам уделено в настоящей работе наибольшее внимание. При этом показано, как на них переносятся идеи, заложенные в принципах построения трансформаторов. Это позволило разработать множество разнообразных схемных и схемно-конструктивных решений, различающихся теми или иными внешними параметрами, и представить их в систематизированном виде.

**1.1 Модели ВЧ широкополосных трансформаторов**

Устройства, выполняющие широкополосную трансформацию сопротивления, принципиально различаются для диапазонов низких и высоких (радиотехнических) частот. В низкочастотных трансформаторах правомерно не принимать во внимание непосредственную электромагнитную связь между обмотками, размещенными на магнитопроводе (М). Для них характерно, что энергия передается посредством магнитопровода и характеристики трансформатора мало зависят от изменения сопротивления нагрузки (при сохранении коэффициента трансформации). Кроме того, эти характеристики малочувствительны к изменению включения зажимов трансформатора относительно общей шины, т.е. к изменению функционального назначения трансформатора. По этому критерию трансформаторы можно разделить на несколько типов согласно табл.1.1.1.

Введем для них коэффициент ***К***, равный отношению суммарного напряжения на обмотках трансформатора к напряжению ***U*** на его входе (со стороны наименьшего напряжения). Для всех рассматриваемых трансформаторов примем нормированную величину ***U=1***. Минимальное значение этого параметра ***Кмин***, обусловленное функциональным назначением трансформатора, приведено в табл.1.1.1. В дальнейшем величина ***К*** понадобится для оценки эффективности использования проводников, в конечном счете широкополосности, реальных ВЧ трансформаторов.

В широкополосных трансформаторах (ШТ), работающих на высоких частотах, нельзя не учитывать непосредственную электромагнитную связь между обмотками. Это принципиальное отличие требует иного подхода к разработке схемных решений для ШТ. Для реализации максимально достижимой ширины рабочего диапазона частот необходимы рассмотрение ШТ как электрических цепей с распределенными параметрами и отыскание предельных характеристик таких цепей при трансформации сопротивлений. В таких ШТ наименьший вносимый коэффициент отражения в задаваемой рабочей полосе частот будет при определенной (номинальной) нагрузке. Это обусловлено тем, что схема замещения ШТ включает в себя реактивные элементы, образующие фильтр с равномерной характеристикой передачи только для определенной нагрузки. Подход к конструированию ШТ с позиции “интегральных” сосредоточенных элементов в схеме замещения (индуктивностей рассеяния, собственных и взаимных емкостей обмоток) не позволял реализовывать максимально достижимую рабочую полосу частот.

В попытке снять это ограничение были предложены трансформаторы, обмотки которых выполнялись двухпроводными линиями передачи [10]. В таких устройствах доминирующей в передачи энергии является непосредственная электромагнитная связь между обмотками. Схема замещения таких широкополосных трансформаторов на линиях (ШТЛ), содержащая линии передачи, достаточно точно отражает характеристики реальных конструкций ШТЛ в широкой полосе частот. В результате были созданы трансформаторы, обладающие существенно расширенном диапазоне частот. Вместе с тем первоначальный подход к разработке схемных решений для ШТЛ в рамках согласованных двухпроводных линий приводит к значительному превышению параметра ***К*** в сравнении с его минимальным значением ***Кмин*** в табл.1.1.1.

Табл.1.1.1

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| №п/п | Тип трансформатора | Условноеобозначение | Принципиальнаяэл.схема | Кмин |
| 1 | Гальваническисвязанные(автотрансфор-маторы) | С несимметрич-ными входом ивыходом | 1:n |  | n |
| 2 | С симметричнымивходом и выходом | ±(1:n) |  | n |
| 3 | Симметрирующий,с понижением напряжения | n: ±1/2 |  | n+1/2 |
| 4 | Симметрирующий,с повышениемнапряжения | 1: ± n /2 |  | n |
| 5 | Гальваническиразвязанные | С изменениемполярности, несимметричнымивходом и выходом | 1:- n |   | n+1 |
| 6 | С симметричными входом и выходом | ±(1:n) |  | n+1 |
| 7 | Симметрирующий,с повышением напряжения | 1: ± n /2 |  | n+1 |
| 8 | Симметрирующий,с понижениемнапряжения | n: ±1/2 |  | n+1 |

Для пояснения этого фактора обратимся к рассмотрению наиболее простых ТШЛ с коэффициентом трансформации 1:n. При n=2 схема трансформатора (рис.1.1а) содержит две одинаковые двухпроводные линии (первая-проводники 1-1' и 2-2', вторая-проводники 3-3' и 4-4'), каждая с волновым сопротивлением ***W*** и электрической длиной ***x*** (***х=2πlл/λ,*** где ***lл-***длина линии; ***λ***-длина волны в ней).

Рис.1.1.1,а

Входы этих линий с понижающей стороны ТШЛ соединены параллельно, а их выходы с повышающей стороны соединены последовательно. При этом вторая линия должна быть размещена на магнитопроводе: продета через него (рис.1.1.1,а) либо намотана на нем, как показано на рис.1.1.1,б. В таком трансформаторе можно выделить два процесса. Первый, специфичный для ТШЛ, представляет собой распространение колебаний по линиям и передачу мощности от источника на входе трансформатора к нагрузке на выходе. Для этого процесса характерно, что токи в любом сечении каждой линии равны по величине и противоположны по знаку. Поэтому можно считать, что вне пространства между проводниками магнитное поле отсутствует и соответственно магнитопровод не оказывает влияния на этот процесс. Для получения согласования с нагрузкой она должна быть равна удвоенному волновому сопротивлению линии, т.е. ***Rн=2W***. В этом случае в линиях имеет место режим бегущей волны и входное сопротивление с пониженной стороны трансформатора равно ***W/2.***

Рис.1.1.1,б

Второй процесс, обусловленный нерегулярностью соединения линий, представляет колебания относительно общей шины. Он не участвует в передаче мощности в нагрузку и характеризуется тем, что в проводниках верхней линии в каждом ее сечении протекают равные синфазные токи. Значение этого тока, как и в обычном низкочастотном трансформаторе, определяет шунтирующее действие индуктивности, образованной проводниками этой линии. Поэтому для уменьшения шунтирующего эффекта верхнюю линию размещают на магнитопроводе. Поскольку в нижней линии один проводник с обеих сторон соединен с общей шиной, то в ее проводниках отсутствуют синфазные токи. Эта линия только для того, чтобы в процессе распространения колебаний от источника к нагрузке скомпенсировать фазовый сдвиг, имеющий место в верхней линии. Поэтому линию, размещенную вне магнитопровода, обеспечивающий только требуемый фазовый сдвиг называют ***фазокомпенсирующей линией***(ФЛ). Фазокомпенсирующие линии не участвуют в формировании шунтирующей индуктивности намагничивания и поэтому являются избыточными элементами (по сравнению с низкочастотными трансформаторами). При малых электрических длинах линий (***х*** близко к нулю), что соответствует области нижних частот рабочего диапазона, этот ШТ 1:2. Проводник 3-3' в ШТЛ образует понижающую его обмотку, а соединенные последовательно проводники 3-3' и 4-4' –его повышающую обмотку (проводники ФЛ заменяются непосредственными соединениями). Нижняя граница рабочего диапазона ШТЛ определяется, как и для обычного низкочастотного трансформатора, значением индуктивности намагничивания, приведенной ко входу трансформатора. Как видно из рис.1.1.1,в, она равна индуктивности обмотки, образованной проводником 3-3'. Для этого ШТЛ 1:2 ***К****мин*=2 (п.1 табл.1.1.1).

Рис.1.1.1,в

Рассмотрим теперь следующий по сложности ШТЛ 1:3 (рис.1.1.2,а,б), построенный по тому же принципу. Он состоит из трех идентичных двухпроводных линий (***W;x***), соединенных на входе параллельно, а на выходах последовательно. В этом трансформаторе для обеспечения режима бегущей волны (как и в предыдущем ТШЛ 1:2) в процессе распространения колебаний в линиях нагрузка должна составлять ***3W***; при этом входное сопротивление равно ***W/3***. Для устранения шунтирующего действия, обусловленного наличием синфазных токов, вторая (проводники 3-3' и 4-4') и третья (проводники 5-5' и 6-6') линии размещаются на раздельных или общем (рис.1.1.2,в) магнитопроводах. В области нижних частот рабочего диапазона (***х≈0***) структура этого ТШЛ (рис.1.1.2,в) принципиально отличается от структуры обычного низкочастотного трансформатора присутствием избыточных обмоток, образованных проводниками 4-4' и 5-5'. Для этого ТШЛ 1:3 ***К=6*** вместо ***К****мин*=3 (согласно п.1 табл.1.1.1). Эта избыточность в значении ***К***является платой за согласование волнового процесса распространения колебаний.

Поскольку напряжения на обмотках (рис.1.1.2,в), относящихся к разным линиям, различаются вдвое, то при размещении этих линий на общем магнитопроводе (рис.1.1.2,б) число витков обмоток должно отличатся в два раза, а направление их намотки определяется полярностью напряжений на проводниках.

При этом шунтирующая индуктивность намагничивания, отнесенная к входу трансформатора (***L1***),будет определяться индуктивностью обмотки, образованной проводником 3-3', т.е. обмотки, напряжение на которой равно входному. Разное число витков для второй и третьей линий, размещаемых на общем магнитопроводе (при соблюдении требований равной их длины для выполнения согласования волнового процесса), приводит к необходимости включения (рис.1.1.2,б) еще одной ФЛ (по сравнению с ШТЛ 1:2). При размещении линий на разных магнитопроводах ***L1*** определяется параллельным соединением индуктивности обмотки, образованной проводником 3-3', и одной четвертой части индуктивности обмотки, образованной проводником 6-6'. Если эти индуктивности одинаковы, то ***L1*** в 5 раз меньше (соответственно в 5 раз выше ***f***н), чем при размещении линий на общем магнитопроводе.

Рис.1.1.2,б

Для общего случая ТШЛ 1:n, построенного по принципу параллельного соединения входов и последовательного соединения выходов согласованных линий (рис.1.1.3,а), схема замещения для области нижних частот приведена на рис.1.1.3,б. Коэффициент ***К*** для этой схемы равен ***n(n-1)***. При выполнении такого ТШЛ на общем магнитопроводе число витков обмоток, образованных проводниками линий, возрастает прямо пропорционально ***(N-1)***, где ***N***-порядковый номер двухпроводной линии, начиная с нижней. В этом случае ***L1=L***, где ***L***-индуктивность обмотки, образованной проводником 3-3', т.е. обмотки на которой нормированное напряжение равно единице.

Для выравнивания длин двухпроводных линий (образующих обмотки с разным числом витков) с целью выполнения согласования для волнового процесса необходимо введение (n-1) ФЛ. При выполнении ШТЛ на раздельных магнитопроводах значение ***L1***резко снижается, поскольку в этом случае оно определяется параллельным соединением индуктивности обмотки 3-3'(***L***),1/4 индуктивности обмотки 5—5', 1/9 индуктивности обмотки 7—7',..., 1/(n-1)2 индуктивности обмотки (2n) — (2n)'. Квадрат нормированного значения напряжения на обмотке определяет, во сколько раз уменьшается индуктивность этой обмотки при приведении ее к входу ШТЛ. Если индуктивности обмоток, размещенных на разных магнитопроводах, одинаковы, то ***L1 = 6L/n (п—1) (2n — 1)***, а индукции ***В*** в их магнитопроводах прямо пропорциональны напряжениям на обмотках. Выровнять индукцию в магнитопроводах (для получения одинаковых допустимых потерь в каждом из них) можно, увеличивая пропорционально напряжениям на обмотках либо сечения их магнитопроводов, либо числа витков. В первом случае ***L1 = 2L/n (п — 1)***, а во втором случае ***L1 = L/(п — 1)***.

Принципиальный недостаток ШТЛ (согласно рис. 1.1.3, а) состоит в том, что *продольные напряжения, т. е. напряжения на обмотках, образованных проводниками двухпроводных согласованных линий, значительно превышают их минимальные значения, имеющие место при низкочастотном исполнении трансформаторов* согласно п. 1 табл. 1.1.1, т. е. ***К > Кмин***. Это существенно сокращает реально достижимую ширину рабочего диапазона частот, так как пропорционально продольным напряжениям растут длины проводников двухпроводных линий, необходимые для получения требуемого числа витков, соответственно увеличиваются габариты трансформатора, возрастают емкости на общую шину, а также неучитываемые электромагнитные связи между линиями и разброс параметров линий. При электрических длинах двухпроводных линий, близких к 90°, возникают эффекты, приводящие к ограничению рабочего диапазона частот в области верхних частот. В целом такие ШТЛ крайне неэкономичны и не способны решать широкий круг возникающих задач.

Для улучшения параметров высокочастотных ШТ необходимо в полной мере использовать все многообразие электромагнитных связей между проводниками. Поэтому в качестве элементного базиса ШТ следует принять отрезок однородной многопроводной линии без потерь, который может быть размещен на магнитопроводе (рис. 1.1.4, а); общая модель таких трансформаторов приведена на рис.1.1.4,б*.* Магнитопровод вносит потери, но обеспечивает увеличение ***α***и уменьшение габаритов. Двум последним факторам в значительной мере способствует применение многопроводной линии, проводники которой соединяются так, чтобы была максимальной шунтирующая индуктивность. Это позволяет получить на единицу длины линии наибольшее значение ***L1*** и обеспечить существенное расширение рабочего диапазона частот в сравнении с традиционным использованием двухпроводных линий.

Рассмотрим более подробно общую модель ШТЛ (рис.1.1.4,б). В реальных устройствах наибольшие поперечные размеры линий малы по сравнению с кратчайшей рабочей длиной волны, что позволяет при описании волнового процесса распространения колебаний по ним пользоваться «ТЕМ-приближением». Известно, что передачу ТЕМ-колебаний по линиям можно представить суперпозицией ***n—1*** колебаний противофазных типов (нечетных мод) и одного колебания синфазного типа (четной моды) [11]. Для каждого колебания противофазного типа сумма токов в проводниках ***1,2,3,...,п***для любого сечения линии и ток в опорном (n+1)-м проводнике равна нулю и отсутствует индукция в магнитопроводе. Колебания противофазного типа, имеющие адекватный характер распространения и связанные с проводниками ***1,2,3,...,п***(рис.1.1.5,а),осуществляют передачу энергии и определяют характеристики ШТЛ в основной части рабочего диапазона частот. Эти колебания имеют единую частотно-независимую постоянную распространения, полагая, что линия имеет однородное заполнение (диэлектриком). В результате для линии на рис. 1.1.5,аправомерна система уравнений [11].

 (1.1.1)

где U(1)=U1(1),U2(1), U3(1),...., Un(1)— вектор входных напряжений; I(1)=I1(1), I2(1), I3(1),..., In(1)— вектор входных токов; аналогично для U(2) и I(2) — векторов напряжения и токов на выходе линии; ***Е*** — единичная матрица с размерами **(n — 1)** X **(n — 1)**; ***G*** — матрица волновых проводимостей линии, имеющая размеры **(n — 1)** X **(n — 1)**; ***G-1*** — обратная матрица.

Для колебания синфазного типа сумма токов в проводниках ***1,2,3,...,п***равна по величине и противоположна по направлению току в опорном **(n + 1)**-м проводнике. Это колебание создает поле в магнитопроводе и определяет шунтирующее реактивное сопротивление ***X(ω)*** и соответственно шунтирующую индуктивность ***L1***, т. е. нижнюю рабочую частоту ***ω***, (рис. 1.1.5, б). На верхних частотах снова проявится ограничение в виде ***ωв+*** (рис. 1.1.5, б). Для большинства реальных конструкций весьма затруднительно расчетным путем определить значение ***ωв+***. Оно зависит от дисперсии фазовой скорости для колебания синфазного типа, вызванной тем, что n-проводная линия выполняется в форме витков над общей шиной с целью получения достаточно низкой ***ωн***, а также частотной зависимостью магнитной проницаемости магнитопровода и его добротности. Эти факторы способствуют увеличению ***ωв+****,* в результате чего достигается весьма большое значение ***α***. В любом случае, чем меньше напряжения на обмотках, образованных линиями, тем короче необходимая длина линий и выше частота ***ωв+***, которая дополнительно может быть увеличена ценой небольших вносимых потерь.

В свете изложенного сформулируем понятие *предельно достижимых параметров* ШТЛ как сочетание нулевого рассогласования, связанного с противофазными типами колебаний (Гв = 0), и минимальных напряжений на проводниках линий, обусловленных синфазным типом колебаний (***К = Кмин)***. Выполнение этих условий обеспечивает максимально широкий рабочий диапазон частот.

При рассмотрении принципов построения ШТЛ будем пользоваться их общей моделью (рис. 1.1.5,в), содержащей участки однородной многопроводной линии, в которых учитывают только противофазные типы колебаний, описываемые системой (1.1.1). Для этих типов колебаний определяются такие соединения проводников и волновые параметры линий, при которых выполняется условие ***Гв=0***.

Общим направлением для формализованного выбора тех или иных соединений проводников линий должно служить ***К → Кмин***. Такой подход дает возможность осуществить целенаправленный синтез схемных решений ШТЛ. При этом будем сразу указывать на одном из проводников многопроводных (в частном случае двухпроводных) линий, размещенных на магнитопроводах, нормированное напряжение, определяемое схемой замещения для области нижних частот рабочего диапазона. Это позволит не изображать для конкретных схем ШТЛ магнитопроводов и соответствующей схемы замещения для области нижних частот. Указанные напряжения позволяют найти значение индукции в магнитопроводе и значение ***L1,***определяющее ωн, как и в обычных низкочастотных трансформаторах [9,12]. В соответствии с полярностью напряжений выбирается направление намотки линий. При выполнении трансформатора на одном магнитопроводе значение ***L1*** всегда равно ***L*** — индуктивности проводника линии, на котором нормированное продольное напряжение равно единице. При нескольких магнитопроводах ***L1*** определяется параллельным соединением индуктивностей. Каждая из этих индуктивностей равна индуктивности одной из обмоток на данном магнитопроводе, деленной на квадрат нормированного напряжения на ней.

После решения задачи синтеза анализ конкретных схемных решений с целью уточнения их характеристик можно проводить с учетом совместного действия синфазного и противофазного типов колебаний, как это сделано для простых устройств в [2, 3, 13].

Для удобства записи и расчетов конкретных схем обозначим номинальное сопротивление на выходе ШТЛ ***R2 nR,***а на входе ***R1 Rn***и введем нормировку, приняв ***R=1***. Для определения волновых сопротивлений линий их нормированные значения ***W****,* найденные в результате расчетов, следует умножить на. Например, для схемы на рис. 1.1.1,а нормированное волновое сопротивление каждой линии равно единице. Если трансформатор предназначен для согласования сопротивлений 50 и 200 Ом (***R2***= 200 Ом, ***R1***= 50 Ом), то фактическое волновое сопротивление каждой линии будет 100 Ом. Поскольку ШТЛ в области нижних частот сводится к определенному соединению обмоток, то коэффициент трансформации, определяемый отношением чисел витков, всегда равен отношению двух целых чисел ***а***и ***b***.Коэффициент трансформации ***п=a/b***сохраняется и при рассмотрении волнового процесса. Таким образом, вносимое рассогласование без учета шунтирующей индуктивности намагничивания Гв может быть равно нулю во всей полосе частот только при коэффициенте трансформации, равном отношению двух целых чисел, т.е. ***п=а/b***.В рамках обеспечения условия Гв=0 рассмотрение схемных решений ШТЛ целесообразно проводить раздельно для целочисленных коэффициентов трансформации *(****b****=*1, ***п****=* 1, 2, 3,...) и дробных ***п = a/b***.Для многих вариантов построения схем с дробными ***п*** ШТЛ с целочисленными ***п***входят в качестве составляющих узлов.

**1.2 Трансформаторы на идентичных двухпроводных линиях**

В табл. 1.2.1 приведены схемные решения для ШТЛ с целочисленными коэффициентами трансформации. Эти трансформаторы выполнены двухпроводными согласованными линиями, соединенными параллельно на входах и последовательно на выходах. Все линии должны быть равной длины и ***W=1***, чтобы выполнялось условие ***Гв = 0***. Ранее рассмотренные ШТЛ на рис.1.1.1 — 1.1.3 относятся к п. 1 табл. 1.2.1.

Как видно из табл. 1.2.1, с увеличением ***п***резко возрастает ***К***по сравнению с Кмин, что свидетельствует о низкой эффективности таких решений при больших ***п****.* Практически могут использоваться такие ШТЛ с ***п***=1,2,3. Кроме того, для симметрирующих ШТЛ (пп. 4—6 табл. 1.2.1) имеет место большая асимметрия плеч симметричной пары зажимов, поскольку «пути» от каждого плеча к общей шине различны.

Характеристики ШТЛ можно улучшить (уменьшить напряжения на проводниках линий либо асимметрию плеч) путем подключения к входу или к выходу трансформатора дополнительной согласованной линии. Ее нормированное волновое сопротивление в первом случае равно ***1/п****,* а во втором—***п****.* Структурные схемы таких ШТЛ приведены в табл. 1.2.2; отношения ***К/Кмин*** даны для случая, когда функциональными узлами (обозначенные прямоугольниками) являются ШТЛ из табл. 1.2.1. При этом зачастую один проводник дополнительной двухпроводной линии можно совместить с проводником одной из двухпроводных линий, входящих в состав того или иного функционального узла.

В качестве примера на рис. 1.2.1,а,би 1.2.2,а,бпоказаны соответственно ШТЛ 1:3 и 1: ±1, выполненные согласно п.2 и п.4 табл. 1.2.2. На рис. 1.2.1,б и 1.2.2,бпоказаны примеры конструктивной реализации этих ШТЛ при выполнении двухпроводных линий коаксиальными. В первом трансформаторе (см. рис. 1.2.1) выровнены напряжения на проводниках линий, что в сравнении с ШТЛ 1:3 на рис. 1.1.3 позволяет при том же размере сердечника увеличить число витков линии с нормированным напряжением на проводниках, равным единице (практически в 1,5 раза), т.е. увеличить ***L***, и соответственно снизить ***fн***. Кроме того, исключается одна ФЛ. Во втором трансформаторе (см. рис. 1.2.2) «пути» от каждого плеча симметричной нагрузки к общей шине одинаковы, что практически полностью исключает асимметрию.

Как уже отмечалось, наличие различающихся напряжений на проводниках линий требует при размещении на общем магнитопроводе разного числа витков для линий равной длины, что приводит к необходимости включения ФЛ. Эти ФЛ приводят к увеличению габаритов (см. рис.1.1.1,б и 1.1.2,б),атакже к возрастанию нежелательных связей между линиями и их емкостей на «землю».

Таблица 1.2.1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| №п/п | Тип ШТЛ | Схема ШТЛ | К/Кмин |
| 1 | 1:n |  | n-1 |
| 2 | ±(1:n),n-четное |   | n/2 |
| 3 | ±(1:n),n-нечетное |   | (n2-1)/2n |
| 4 | n: ±1/2 |  | 2n2/(2n+1) |
| 5 | 1: ±n/2,n-четное |  | n/2 |
| 6 | 1: ±n/2,n-нечетное |  | (n2+1)/2n |
| 7 | 1: -n |  | n |

Представляет интерес определить рассогласование (Гв=0), возникающее при отсутствии ФЛ, т. е. при замене их проводников непосредственными соединениями. В этом случае уместно воспользоваться ***h***-параметрами четырехполюсника, и тогда для ШТЛ 1:n (п.1 табл. 1.2.1) имеем нормированную матрицу:

 (1.2.1)

; .

Таблица 1.2.2

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| №п/п | Тип ШТЛ | Структурная схема | К/Кмин |
| 1 | 1:n,n-четное |  | n/2 |
| 2 | 1:n,n-нечетное |  | (n2-1)/2 |
| 3 | n: ±1/2 |  | 2[n(n-1)+1]/(2n+1) |
| 4 | 1: ±n/2 |  | n/2, n-четное(n2+1)/2n,n-нечетное |
| 5 | n: ±1/2 |  | (n2+2n)/(2n+1)n-четное(n2+2n-1)/(2n+1)n-нечетное |
| 6 | 1: -n |  | [n(n-1)+2]/(n+1) |

Соответственно коэффициент отражения:

Гв=[n2(h212-h2 11)-1]/[n2(h2 12-h2 11)+1+j2nh11] (1.2.2)

Зависимости |Гв|=F(x) показаны на рис. 1.2.3 непрерывными линиями.

Для ШТЛ 1:—***п***(п.7 табл. 1.2.1) при исключении ФЛ матрица[H]2 имеет тот же вид (1.2.1), но h11=∑tg[ix/(n-1)]; h12=∑cos[ix/(n-1)].По аналогии с предыдущим случаем, находим модуль коэффициента отражения — штриховые линии на рис. 1.2.3.

Для ШТЛ с дополнительной линией (пп.1.2 табл. 1.2.2), матрица [Н] которого равна [Н]1+[Н]2, при тех же значениях ***n***величина |ГВ| значительно меньше (рис. 1.2.4).

В заключение покажем, что при исключении ФЛ рассогласование можно существенно снизить с помощью сосредоточенных корректирующих элементов: индуктивности ***LK=l0xвW/ωв*** впродольной ветви на выходе и шунтирующей емкости ***Ск = c0xB/Wωв*** на входе трансформатора (рис. 1.2.5, а), где ***l0*** и ***с0***— безразмерные (нормированные) значения индуктивности и емкости, а ***хв***—длина линии для верхней частоты диапазона (***fв***). Полагая ***l0***= ***с0****,* что физически обусловлено антиметричностью корректируемой цепи, в соответствии с элементами матрицы (1.2.1) коэффициент отражения:

**Гв=(A-1)/[A+1+j2n(h11+l0x)]**,

где ***А***=n2(h2 12- h2 11-2h11l0x-l2 0x2). Как показано на рис. 1.2.5,б-г, для ШТЛ 1:n (п. 1 табл. 1.2.1) при обычно приемлемых малых значениях Гв (|ГВ|≤0,05) достигается вдвое и более расширенный рабочий диапазон частот.

**1.3 Широкополосные трансформаторы на линиях с целочисленными коэффициентами трансформации**

Усовершенствуя рассмотренный выше принцип образования ШТЛ, можно реализовать и при ***п***>2 минимальные напряжения на проводниках согласованных двухпроводных линий и соответственно минимальные их длины. Этот усовершенствованный принцип проиллюстрируем на примере ШТЛ 1:4 (рис. 1.3.1,а), выполненного из трех двухпроводных линий, на проводниках которых указаны продольные напряжения, имеющие место для низкочастотного аналога (рис. 1.3.1,б), и трех ФЛ. В дальнейшем линии, на проводниках которых указаны продольные напряжения, будем называть *основными.*

Пусть волновые сопротивления первой основной линии и трех ФЛ равны *W.* Тогда по каждой из этих четырех линий, входы которых соединены параллельно, будут распространяться колебания с амплитудами напряжения ***U***и тока ***I***=***U/W****.* Если электрические длины первой основной линии и ФЛ, подключенной последовательно к ее выходу, одинаковы и равны ***х****,* то колебания на выходах этих линий сложатся синфазно. Чтобы это суммарное колебание амплитудой ***2U***распространялось без отражения по второй основной линии, ее волновое сопротивление должно быть ***2W****.* Тогда амплитуда тока останется равной ***U/W****.* Для сохранения неизменным тока в третьей основной линии при амплитуде напряжения ***3U*** ее волновое сопротивление должно составлять ***3W****,* а электрическая длина второй ФЛ должна быть ***2х****.* Для синфазного суммирования напряжений на согласованной нагрузке ***R2 4W*** длина третьей ФЛ должна составлять ***Зх****.* В результате получаем трансформацию напряжения в 4 раза при полном согласовании для волнового процесса передачи мощности в нагрузку ***R2****,* т. е. Гв=0. Фазокомпенсирующие линии для такого трансформатора удобно выполнять коаксиальными линиями, которые могут соединяться своими внешними проводниками. На рис. 1.3.1,в показан вариант выполнения ШТЛ 1:4 для согласования сопротивлений 50 и 3,125 Ом при использовании стандартных кабелей РК-50 и РК.-75. Для реализации требуемых волновых сопротивлений линий отрезки кабелей соединяются параллельно.

Широкополосные трансформаторы на линиях различных типов, полученные при использовании рассмотренного принципа, приведены в табл. 1.3.1. При этом трансформатор (рис. 1.3.1,а) относится к п. 1 табл. 1.3.1. Для всех ШТЛ табл. 1.3.1 нормированные значения продольных напряжений на проводниках линий не превышают единицы и соответственно их длины минимальны.

Рассмотрим теперь пути уменьшения числа ФЛ в схемах ШТЛ табл. 1.3.1 при сохранении тех же значений ***К*** и условия Гв=0. На рис. 1.3.1,а точки фазокомпенсирующих линий, отстоящие на одинаковых электрических «расстояниях» от входа, эквипотенциальны для волн, распространяющихся в обоих направлениях. Поэтому их можно соединить и заменить все ФЛ одной трехступенчатой (рис. 1.3.2). Волновые сопротивления ее первой, второй и третьей ступеней равны соответственно: ***W/3, W/2***и ***W***.Напряжение бегущей волны вдоль этой трехступенчатой ФЛ неизменно по амплитуде, а амплитуда тока в ней уменьшается от ***3U/W***для первой ступени до ***U/W***для третьей ступени. Для основных линий возрастает амплитуда напряжения бегущей волны от линии к линии от ***U***до ***3U****,* а амплитуда тока остается неизменной. Рассмотренный принцип уменьшения числа ФЛ можно развить на все типы ШТЛ табл. 1.3.1.

Таблица 1.3.1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| №п/п | Тип ТШЛ | Схема ТШЛ | К/Кмин |
| 1 | 1:n |  | 2(n-1)/n |
| 2 | ±(1:n)n-четное |  | 2(n-1)/n |
| 3 | ±(1:n)n-нечетное |  | 2(n-1)/n |
| 4 | 1:-n |  | 2n/(n+1) |
| 5 | ±(1:n)n-четное |  | 2n/(n+1) |
| 6 | ±(1:n)n-нечетное |  | 2n/(n+1) |

Для схем ШТЛ табл. 1.3.1 существуют дуальные схемы с теми же минимальными продольными напряжениями на проводниках линий. Дуальная схема образуется путем замены последовательного соединения линий между собой на параллельное и наоборот, а нормированных волновых сопротивлений — на проводимости. В таблице 1.3.1 отсутствуют схемы, дуальные, поскольку они оказываются гальванически связанными и имеют худшие параметры. Выбор того или иного варианта ШТЛ обусловлен возможностью реализации волновых сопротивлений основных линий при задаваемых значениях ***R1*** и ***R2 .*** Количество возможных решений возрастает при использовании рассмотренных ШТЛ в структурных схемах табл. 1.2.2.

Конструктивное выполнение схем ШТЛ табл. 1.3.1 существенно упрощается, если исключить все ФЛ, заменив их проводники непосредственными соединениями. В этом случае появляются проводники основных линий с эквипотенциальными зажимами. Это позволяет объединить такие проводники и образовать ШТЛ, для которых ***К=Кмин*** согласно табл.1.1.1. Объединение проводников дает возможность уменьшить размеры магнитопровода или увеличить число витков на выбранном магнитопроводе. Однако исключение ФЛ дается (как и для ШТЛ в разд.1) ценой рассогласования, возрастающего с увеличением ***х***для основных линий. Схемы ШТЛ по табл. 1.2.1 без ФЛ сводятся к единым и соответствуют двум конструктивным реализациям. Первая предполагает, что волновая проводимость, отличная от нуля, имеет место только между одним (общим) проводником и каждым из остальных, что условно изображено набором коаксиальных линий с объединенными внешними проводниками, образующими общий проводник. Это условие для волновых параметров может быть реализовано и по-другому, например, при расположении над общим проводником полосковых проводников, торцевыми связями между которыми можно пренебречь. Вторая конструктивная реализация предполагает не равными нулю волновые проводимости только между смежными проводниками. Это обеспечивается, например, при расположении полосковых проводников друг над другом.

Рис.1.3.3

Характеристики ШТЛ могут быть улучшены (увеличивается ***хв***и уменьшается разброс волновых сопротивлений) при использовании корректирующих элементов (рис. 1.3.3): разомкнутой на конце линии,подключенной параллельно входу ШТЛ, и короткозамкнутой на конце линии, подключенной последовательно на выходе ШТЛ.

Отметим, что при использовании ШТЛ без ФЛ в структурных схемах табл. 1.2.2 проводник дополнительной линии также можно объединить с проводником ШТЛ, имеющим с ним эквипотенциальные зажимы, сохраняя в целом ***К=Кмин***. Очевидно, что корректирующие элементы должны быть включены до дополнительной линии.

**1.4 Широкополосные трансформаторы с минимальным числом линий**

Число основных линий и значительный разброс номиналов их волновых сопротивлений можно уменьшить при ***п*** ≥5, если использовать в одном ШТЛ составляющие узлы (рис. 1.4.1,а,б*)* дуальных схем ШТЛ.

Например, для ШТЛ 1:5 возможны два варианта построения (рис. 1.4.2,а,б)*.* При этом в обоих случаях обе линии первого составляющего узла соединяются по входам параллельно, образуя вход ШТЛ. К крайним выходным зажимам последнего составляющего узла (выход ШТЛ) подключается нагрузка, а два других выходных зажима остаются свободными. Эти граничные условия сохраняются для ШТЛ 1:nс произвольным целым ***п****.*

На примере рис. 1.4.2,апоясним принцип определения волновых сопротивлений линий, при которых Г=0. Поскольку в линиях должен быть режим бегущей волны, то амплитуды напряжений и токов на входах и выходах всех линий определяются в соответствии с их соединениями по законам Кирхгофа. При этом нормированное напряжение на входе и ток на выходе равны единице. Поделив нормированные напряжения на соответствующие токи (эти значения указаны на рис. 1.4.2,а), получим искомые нормированные волновые сопротивления всех линий: для основных линий 1/2, 1 и 2, а для ФЛ 1/3, 1 и 3. Отметим, что при выполнении ШТЛ 1:5 для основных линий 1, 2, 3, 4, а для ФЛ 1/4, 1/3, 1/2, 1.

Приведенные варианты ШТЛ 1:5 (рис. 1.4.2,а,б)отличаются тем, что основные и Фазокомпенсирующие линии меняются ролями. Обусловлено это тем, что общая шина переносится с одной группы линий на другую. Если это различие не принимать во внимание (т. е. исключить соединения с общей шиной), то можно обе схемы представить единой топологической схемой (рис. 1.4.2,в)*.* На схеме каждая двухпроводная линия изображается одним отрезком, на котором указаны в порядке следования напряжения бегущей волны и нормированное волновое сопротивление. В кружочках указаны нормированные значения продольных напряжений на проводниках двухпроводных линий, имеющие место либо для верхней группы линии (если они в соответствии с выбранными соединениями с общей шиной являются основными), либо для нижней, когда верхняя группа линий является ФЛ. Стрелки на соединительных проводниках указывают на процесс суммирования напряжения, а точки -на суммирование токов.

Используя рассмотренный принцип построения, можно составить и рассчитать различные варианты схем ШТЛ 1:nс минимальным числом линий для ***п***≥5. Эти варианты для ***п****=*5,6,...,13 в рассмотренном топологическом изображении. При ***п****=*6,7,8 минимальное число составляющих узлов (см. рис. 1.4.1) равно четырем, а при ***п=*** 9, 10, 11, 12, 13 -пяти. При задаваемом числе составляющих узлов всегда существует определенный наибольший коэффициент трансформации для ШТЛ 1:n*.* Для получения наибольшего ***п***(при заданном числе составляющих узлов) необходимо при каждом соединении составляющих узлов вводить в одну двухпроводную линию последующего узла максимальное напряжение с выхода двухпроводной линии предыдущего узла, а суммарное напряжение с выходов обеих двухпроводных линий предыдущего узла вводить в другую двухпроводную линию последующего узла. При этом на вход каждого последующего узла поступает максимально возможное напряжение. Получаемый ряд наибольших коэффициентов трансформации отвечает последовательности Фибоначчи (без первых ее двух членов, равных единице), для которой каждый последующий ее член равен сумме двух предыдущих. Соответственно имеем ряд наибольших коэффициентов трансформации: 2, 3, 5, 8, 13,...

Широкополосные трансформаторы на линиях типа ±(1:n)с минимальным числом линий, построены по тому же принципу, что и ШТЛ 1:n. При этом использовано аналогичное топологическое изображение, что и для ШТЛ 1:n, только введенная третья цифра означает значение нормированного напряжения на проводниках линий. В качестве примера на рис. 1.4.3 показан ШТЛ ±(1:11). Обеспечивая при каждом соединении составляющих узлов передачу максимально возможной суммы напряжений с выхода предыдущего узла на вход последующего узла, получаем ряд наибольших коэффициентов трансформации при задаваемом числе составляющих узлов. Этот ряд наибольших коэффициентов трансформации, для которого каждый последующий член равен сумме предыдущего и удвоенного значения члена, стоящего перед предыдущим (учитывая, что первых два члена равны единице), имеет вид: 3, 5, 11, 21, ...

Альтернативный вариант построения ТШЛ типа ±(1:n) состоит в каскадном подключении к входу ШТЛ ±(1:n) простейшего ШТЛ ±(1:1).

**1.5 Патентное исследование**

Описание изобретения к авторскому свидетельству **SU 675455**

(61) Дополнение к авторскому свидетельству -

(22) Заявлено 15.04.77 (21) 2474423/24-07 с присоединением заявки № -

(23) Приоритет - Опубликовано 25.07.79. Бюллетень №27 Дата опубликования описания 27.07.79.

(51) М. Кл Н 01 F 19/04

(72) Авторы изобретения С.Е. Лондон и С.В. Томашевич.

(71) Заявитель –

(53) УДК 621.314.26 (088.8)

(54) Широкополосный трансформатор

Изобретение относится к области радиотехники, в частности к высокочастотным симметричным трансформаторам.

Целью изобретения является упрощение конструкций широкополосного трансформатора и повышение его КПД.

Это достигается тем, что в предложенном широкополосном трансформаторе, содержащем две двухпроводные (в частности и коаксиальные) линии 1 и 2 (рис. 1.5.1 и рис. 1.5.2.), размещенные на магнитопроводе 3, входные концы которых соединены между собой, а к выходным концам подключена симметричная относительно обшей шины 4 нагрузка 5, и дополнительную двухпроводную линию 6, размещенную на магнитопроводе 3 рядом с первой из упомянутых линий 1 и подключенную с одного конца к выходу несимметричного относительно обшей шины 4 источника сигнала 7, а с другого конца соединенную параллельно с первой из упомянутых линий 1, внешний проводник дополнительной линии 6 соединен непосредственно по всей длине с внешним проводником первой из упомянутых линий 1, размещенных на магнитопроводе 3, до ее середины, при этом середины внешних проводников линий, размещенных на магнитопроводе, подключены к общей шине.

Описание изобретения к авторскому свидетельству **SU 630652**

(61) Дополнение к авторскому свидетельству -

(22) Заявлено 03.06.77 (21) 2491969/24-07 с присоединением заявки № -

(23) Приоритет -

(43) Опубликовано 30.10.78. Бюллетень №40

(45) Дата опубликования описания 30.10.78.

(51) М. Кл Н 01 F 19/04

(53) УДК 621.314.225 (088.8)

(72) Авторы изобретения С.Е. Лондон и С.В. Томашевич.

(71) Заявитель –

(54) Широкополосный трансформатор

Изобретение относится к области радиотехники в частности, к конструированию и изготовлению высокочастотных трансформаторов с гальванической развязкой между входом и выходом.

Целью изобретения является упрощение конструкции и увеличение уровня передаваемой мощности.

Широкополосный трансформатор с гальванической развязкой между входом и выходом, содержащий две двухпроводные линии 1 и 2 (например, коаксиальные), размещенные на магнитопроводе 3, начало первого проводника первой линии 1 соединено с концом первого проводника второй линии 2, а начало второго проводника первой линии 1 и конец второго проводника второй линии 2 образуют входные зажимы, к которым подключен источник сигнала 4, и нагрузку 5, отличающейся тем, что, с целью упрощения конструкции и увеличения уровня передаваемой мощности, начало и конец второго проводника одной из упомянутых линий 1 соединены соответственно с началом и концом второго проводника другой линии 2, а между свободными зажимами первых проводников линий подключена нагрузка 5 (рис. 1.5.3).

Описание изобретения к авторскому свидетельству **SU 725095**

(61) Дополнение к авторскому свидетельству -

(22) Заявлено 30.10.78 (21) 2678590/24-07 с присоединением заявки № -

(23) Приоритет -

(43) Опубликовано 30.03. 80. Бюллетень №12

(45) Дата опубликования описания 30.03.80.

(51) М. Кл Н 01 F 19/04

(53) УДК 621.314.26 (088.8)

(72) Авторы изобретения С.Е. Лондон и С.В. Томашевич.

(71) Заявитель –

(54) Широкополосный трансформатор

Изобретение относится к радиотехнике, в частности к конструированию и изготовлению высокочастотных широкополосных трансформаторов.

Цель изобретения – упрощение устройства.

Широкополосный трансформатор с коэффициентом трансформации, равным целому числу, содержащий проводник 1, состоящий из последовательно соединенных участков, объединенных в две многопороводные линии, в первой из которых расположены не четные участки проводника, а во второй - четные его участки, при этом конец проводника соединен с общей шиной 2, отличающейся тем, что, с целью упрощения устройства, в первую многопорводную линию введен дополнительный проводник, начало которого соединено с общей шиной 2, а число участков основного проводника равно удвоенному значению коэффициента трансформации (рис. 1.5.4).

Описание изобретения к авторскому свидетельству **SU 691934**

(61) Дополнение к авторскому свидетельству -

(22) Заявлено 10.02.78 (21) 2576772/24-07 с присоединением заявки № -

(23) Приоритет - Опубликовано 15.10. 79. Бюллетень №38 Дата опубликования описания 25.10.79.

(51) М. Кл Н 01 F 19/04

(53) УДК 621.314.26 2(088.8)

(72) Авторы изобретения С.Е. Лондон и С.В. Томашевич.

(71) Заявитель –

(54) Широкополосный трансформатор

Изобретение относится к радиотехнике, в частности к конструированию и изготовлению высокочастотных согласующих трансформаторов.

Целью изобретения является расширение рабочей полосы частот.

1.Широкополосный трансформатор, содержащий обмотку, проводник которой разделен на участки 1 и 2, образующие между собой линии передачи с переменным вдоль линии волновым сопротивлением, отличающийся тем, что, с целью расширения рабочей полосы частот, каждая из линий передачи выполнена из двух ступеней 3-1 и 3-2, равных по длине с разным волновым сопротивлением, постоянным в пределах одной ступени (рис.1.5.5).

2. Трансформатор по п. 1, отличающийся тем, что участки проводника образуют N двухпроводных линий передачи, соединенных по входам в параллель, а по выходам последовательно между собой и с упомянутыми входами, при этом волновое сопротивление каждой из ступеней, соединенных в параллель, в N+2/N раз меньше волнового сопротивления каждой из ступеней 4-1 и 4-2, соединенных по выходу последовательно (рис. 1.5.6).

Описание изобретения к авторскому свидетельству **SU 691934**

(61) Дополнение к авторскому свидетельству -

(22) Заявлено 10.05.78 (21) 2618793/24-07 с присоединением заявки № -

(23) Приоритет -

(43) Опубликовано 30.07. 80. Бюллетень №28

(45) Дата опубликования описания 30.07.80.

(51) М. Кл Н 01 F 19/06

(53) УДК 621.317.225 (088.8)

(72) Автор изобретения И.М. Черкашин

(71) Заявитель –

(54) Широкополосный трансформатор

Изобретение относится к электротехнике, в частности к широкополосному трансформатору, предназначенному для согласования транзисторных каскадов с нагрузкой в различных радиотехнических устройствах, в частности радиопередающих устройствах.

Целью изобретения является улучшение характеристик и повышение технологичности изготовления трансформатора.

Широкополосный трансформатор, содержащий ферритовый тороидальный магнитопровод 1 и обмотки 2 (рис.1.5.7), свитые из изолированных проводов в общий жгут, намотанный несколькими витками на тороидальный магнитопровод 2, отличающийся тем, что, с целью улучшения характеристик и повышения технологичности изготовления, в жгуте выполнены отводы ,,…, (рис.) из составляющих его проводов через промежутки, величины которых кратны длине витка жгута.

Описание изобретения к авторскому свидетельству **SU 1453456**

(21) 4196794/24-07

(22) 25.12.86

(46) 23.01.89. Бюллетень №3

(72) Г.И. Невмержицкий, И.М. Симонтов и А.И. Тихонов

(53) 621.314.222 (088.8)

(56) Лондон С.Е. Томашевич С.В. Справочник по высокочастотным трансформаторным устройствам. – М.: Радио и связь, 1984.

(51) М. Кл Н 01 F 19/04

(54) Широкополосный трансформатор

Изобретение относится к радиотехнике и может быть использовано в широкополосных усилителях и согласующих устройствах.

Целью изобретения является увеличение широкополосности трансформатора.

Широкополосный трансформатор, содержащий ферритовый тороидальный магнитопровод 1 (рис.1.5.8) и три намотанных на нем проводника 3-5, представляющих три длинные линии, отличающиеся тем, что, с целью увеличения широкополосности и уменьшении габаритов, проводники 3-5 намотаны равномерно в плоскости обмотки так, что последний и первый проводники каждых соседних витков, кроме первого и последнего, образуют дополнительную длинную линию.

В процессе анализа патентов не было обнаружено устройств, близких по техническим показателям к требованиям задания дипломного проекта: получение максимально возможной величины коэффициента широкополосности ***КШ***≈ 6000-10000;

иметь как можно меньшую величину волнового сопротивления ***ρ***, с целью облегчения согласования ТДЛ со стандартной величиной импедансов источников сигнала и нагрузок с сопротивлением RГ = RН=75Ом (или 50Ом);

получение постоянства волнового сопротивления ρ во всем диапазоне частот, но не более стандартных величин;

иметь минимальные габариты, большую эксплуатационную надежность и экономический эффект.

Наиболее близкими *оптимальными* характеристиками обладает широкополосный трансформатор А.С. № SU 1453456 – Бюл. 3, опубл. 23.01.89, Авт. Г.И. Невмержицкий, И.М. Симонтов, А.И. Тихонов.

**2. Разработка и исследование оптимального варианта ТДЛ**

Результаты разработки ТДЛ с коэффициентом трансформации «nТР» по R [1:9] или по U [1:3] для усилителей с повышенными требованиями по блокированию.

На основе приведенного обзора технической литературы и проработки патентных источников, для исследования и разработки широкополосного трансформатора, был взят за основу ТДЛ с выполнением обмотки в виде двух одинаковых двухпроводных линий ***W***, каждая с волновым сопротивлением ***ρ*** и электрической длиной ***х*** (рис.1.1.1а), образующих длинные линии, намотанные на тороидальный ферритовый магнитопровод.

Целью разработки и исследования является расширение рабочей полосы частот трехпроводникового ТДЛ без увеличения его габаритов.

При разработке ТДЛ необходимо ориентироваться на выполнение следующих противоречивых требований:

получение максимально возможной величины коэффициента широкополосности ***КШ***≈ 6000-10000, для чего необходимо расширять полосу пропускания ТДЛ как «вверх», так и «вниз»;

иметь как можно меньшую величину волнового сопротивления ***ρ***, с целью облегчения согласования ТДЛ со стандартной величиной импедансов источников сигнала и нагрузок с сопротивлением RГ = RН=75Ом (или 50Ом);

получение постоянства волнового сопротивления ρ во всем диапазоне частот, но не более стандартных величин;

иметь минимальные габариты, большую эксплуатационную надежность и экономический эффект.

Коэффициент передачи ТДЛ измеряется по схеме рис.2.1. следующим образом. На вход трансформатора от генератора Г подается фиксированное напряжение ЕГ =100 мВ (точка 1). На входном зажиме 2 измеряется входное напряжение UВХ на нескольких частотах. Выходное напряжение UВЫХ измеряется на нагрузке RН. Результаты измерений заносятся в таблицу.

Для достижения наибольшей полосы рабочих частот в широкополосном трансформаторе должно быть выполнено условие постоянства волнового сопротивления по всей длине линии передачи.

Волновое сопротивление

,

где - индуктивность ДЛ при КЗ на выходе; - емкость ДЛ при ХХ на выходе; измеряется по схеме рис.3.1

Коэффициент усиления

,

где и - соответственно действующее значение выходного и входного напряжений усилителя (при частоте ), измеряется в диапазоне частот по схеме рис.2.1. Экспериментальные данные сводятся в таблицу.

Результаты исследования ТДЛ-1.

Марка магнитопровода К-12; магнитная проницаемость µ=4000; диаметр проводника D=0.33мм; количество витков N=14; межвитковая емкость С=100пФ; межвитковая индуктивность L=0.07мкГн.

Таблица 2.1

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| f,МГц | 0,1 | 1 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 |
| Uвх,мкВ | 50 | 50 | 48 | 43 | 44 | 44 | 42 | 48 | 50 |
| Uвых, мкВ | 150 | 150 | 150 | 145 | 145 | 145 | 145 | 145 | 78 |
| К | 3 | 3 | 3,12 | 3,3 | 3,3 | 3,3 | 3,4 | 3 | 1,6 |

Рис.2.2. Амплитудно – частотная характеристика ТДЛ-1.

Вывод: рабочий частотный диапазон 100кГц – 60МГц

,

что не удовлетворяет условиям, изложенным выше. Возможно, выбор сердечника большего диаметра, например, типа К-20, а также увеличение диаметра провода (D=1,07мм) и уменьшение количества витков до величины N=2,5 даст более лучший результат.

Результаты исследования ТДЛ-2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| f,МГц | 0,1 | 10 | 30 | 50 | 60 | 70 | 80 | 98 | 100 |
| Uвх,мкВ | 40 | 42 | 42 | 38 | 41 | 40 | 40 | 48 | 56 |
| Uвых,мкВ | 122 | 132 | 132 | 114 | 112 | 110 | 110 | 105 | 112 |
| К | 5,5 | 3,14 | 3,14 | 3,0 | 2,73 | 2,75 | 2,75 | 2,18 | 2,0 |

Марка магнитопровода К-20; магнитная проницаемость µ=4000; диаметр проводника D=1,07мм; количество витков N=2,5; межвитковая емкость С=27пФ; межвитковая индуктивность L=0.039мкГн.

Таблица 2.2

Рис.2.3. Амплитудно – частотная характеристика ТДЛ-2.

Вывод: рабочий частотный диапазон 100кГц – 50МГц

,

что не удовлетворяет условиям изложенным выше. Возможно следует уменьшить количество витков до N=2.

Результаты исследования ТДЛ-3

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| f,МГц | 0,1 | 10 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
| Uвх,мкВ | 30 | 36 | 39 | 38 | 40 | 42 | 35 | 28 |
| Uвых,мкВ | 90 | 120 | 122 | 120 | 120 | 122 | 100 | 70 |
| К | 3 | 3,3 | 3,12 | 3,16 | 3,0 | 2,9 | 2,86 | 2,5 |

Марка магнитопровода К-20; магнитная проницаемость µ=4000; диаметр проводника D=1,07мм; количество витков N=2; межвитковая емкость С=51пФ; межвитковая индуктивность L=0.03мкГн.

Рис.2.4. Амплитудно – частотная характеристика ТДЛ-3.

Вывод: рабочий частотный диапазон 100кГц – 50МГц

,

что не удовлетворяет условиям изложенным выше. Перейдем на сердечник с меньшей магнитной проницаемостью µ=1000.

Результаты исследования ТДЛ-4

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| f,МГц | 0,1 | 1 | 10 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |
| Uвх,мкВ | 13 | 46 | 46 | 45 | 45 | 46 | 49 | 50 | 47 | 44 |
| Uвых,мкВ | 40 | 132 | 140 | 135 | 130 | 128 | 128 | 118 | 105 | 72 |
| К | 3 | 2,86 | 3,04 | 3 | 2,88 | 2,78 | 2,61 | 2,36 | 2,23 | 1,64 |

Марка магнитопровода К-16; магнитная проницаемость µ=1000; диаметр проводника D=1,07мм; количество витков N=2; межвитковая емкость С=62пФ; межвитковая индуктивность L=0.029мкГн.

Таблица 2.4

Рис.2.5. Амплитудно – частотная характеристика ТДЛ-4.

Вывод: однако спад АЧХ на 30-60МГц во всех вариантах побуждает искать иной выход. Очевидно внутриобмоточная проходная емкость (особенно первичной обмотки) ограничивает частотный диапазон «сверху». Поэтому исследуем вариант трех отдельных ТДЛ с двойными проводами по схеме рис.2.6.

Результаты исследования ТДЛ-5



|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| f,МГц | 0,1 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| Uвх,мкВ | 40 | 47 | 46 | 46 | 46 | 46 | 46 | 47 | 49 | 50 | 50 |
| Uвых,мкВ | 125 | 148 | 142 | 140 | 138 | 133 | 140 | 127 | 125 | 120 | 112 |
| К | 3,12 | 3,15 | 3,08 | 3,04 | 3,0 | 2,9 | 3,04 | 2,7 | 2,55 | 2,4 | 2,24 |

Марка магнитопровода К-12; магнитная проницаемость µ=4000; диаметр проводника D=0,54мм; количество витков N=5; межвитковая емкость С=9,4пФ; межвитковая индуктивность L=0.067мкГн.

Таблица 2.5

Рис.2.7. Амплитудно – частотная характеристика ТДЛ-5.

Вывод: рабочий частотный диапазон 100кГц – 60МГц

,

что не удовлетворяет условиям изложенным выше. Возможно следует уменьшить количество витков до N=4.

Результаты исследования ТДЛ-6

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| f,МГц | 0,1 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| Uвх,мкВ | 36 | 47 | 46 | 46 | 46 | 46 | 46 | 46 | 46 | 48 | 49 |
| Uвых,мкВ | 112 | 142 | 140 | 138 | 132 | 130 | 128 | 120 | 120 | 115 | 112 |
| К | 3,11 | 3,02 | 3,04 | 3,0 | 2,9 | 2,82 | 2,8 | 2,6 | 2,6 | 2,4 | 2,28 |

Марка магнитопровода К-12; магнитная проницаемость µ=4000; диаметр проводника D=0,54мм; количество витков N=4; межвитковая емкость С=10,5пФ; межвитковая индуктивность L=0.072мкГн.

Рис.2.8. Амплитудно – частотная характеристика ТДЛ-6.

Вывод: рабочий частотный диапазон 100кГц – 30МГц

,

что не удовлетворяет условиям изложенным выше. Попробуем уменьшить диаметр провода D=0,33мм и увеличить количество витков до N=7 .

Результаты исследования ТДЛ-7

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| f,МГц | 0,1 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| Uвх,мкВ | 45 | 48 | 47 | 46 | 47 | 47 | 47 | 46 | 47 | 48 | 49 |
| Uвых,мкВ | 140 | 148 | 145 | 140 | 138 | 135 | 130 | 120 | 115 | 110 | 105 |
| К | 3,11 | 3,08 | 3,08 | 3,04 | 2,94 | 2,87 | 2,76 | 2,6 | 2,44 | 2,29 | 2,14 |

Марка магнитопровода К-12; магнитная проницаемость µ=4000; диаметр проводника D=0,33мм; количество витков N=7; межвитковая емкость С=21,5пФ; межвитковая индуктивность L=0.045мкГн.

Рис.2.9. Амплитудно – частотная характеристика ТДЛ-7.

Вывод: рабочий частотный диапазон 100кГц – 30МГц

,

что неудовлетворяет условиям изложенных выше. Возможно, уменьшение количества витков до N=5, даст лучший результат.

Результаты исследования ТДЛ-8.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| f,МГц | 0,1 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| Uвх,мкВ | 42 | 47 | 47 | 46 | 47 | 47 | 48 | 48 | 48 | 49 | 50 |
| Uвых,мкВ | 130 | 140 | 140 | 138 | 135 | 130 | 128 | 120 | 145 | 112 | 110 |
| К | 3,09 | 2,97 | 2,97 | 3 | 2,87 | 2,76 | 2,66 | 2,5 | 2,4 | 2,28 | 2,2 |

Марка магнитопровода К-12; магнитная проницаемость µ=4000; диаметр проводника D=0,33мм; количество витков N=5; межвитковая емкость С=24,6пФ; межвитковая индуктивность L=0.042мкГн.

Рис.2.10. Амплитудно – частотная характеристика ТДЛ-8.

Вывод: так как увеличение числа витков с N=5 до N=7 дает улучшения передачи, следовательно при одинаковых сердечниках длина выводов при 5 витках соизмерима с длиной ДЛ, а при одинаковом числе витков лучшие результаты дает увеличение диаметра провода с 0.33мм до 0.54мм. Попробуем N=7, D=0,54мм на кольце К-12.

Результаты исследования ТДЛ-9

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| f,МГц | 0,1 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| Uвх,мкВ | 48 | 48 | 48 | 47 | 46 | 47 | 46 | 44 | 44 | 45 | 45 |
| Uвых,мкВ | 150 | 152 | 150 | 145 | 142 | 137 | 135 | 132 | 125 | 120 | 115 |
| К | 3,12 | 3,16 | 3,12 | 3,08 | 3,08 | 2,9 | 2,93 | 3 | 2,84 | 2,66 | 2,55 |

Марка магнитопровода К-12; магнитная проницаемость µ=4000; диаметр проводника D=0,54мм; количество витков N=7; межвитковая емкость С=24,6пФ; межвитковая индуктивность L=0.042мкГн.

Рис.2.11. Амплитудно – частотная характеристика ТДЛ-9.

Вывод: рабочий частотный диапазон 100кГц – 70МГц

,

что неудовлетворяет условиям изложенных выше. Возможно, следует увеличить диаметр провода до 0.84мм на кольце К-16 (µ=1000).

Результаты исследования ТДЛ-10

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| f,МГц | 0,1 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| Uвх,мкВ | 46 | 46 | 45 | 42 | 39 | 38 | 29 | 30 | 37 | 46 | 50 |
| Uвых,мкВ | 145 | 150 | 145 | 142 | 139 | 130 | 88 | 76 | 83 | 70 | 54 |
| К | 3,15 | 3,26 | 3,22 | 3,38 | 3,56 | 3,42 | 3,03 | 2,53 | 2,24 | 1,52 | 1,08 |

Марка магнитопровода К-16; магнитная проницаемость µ=1000; диаметр проводника D=0,84мм; количество витков N=7; межвитковая емкость С=27пФ; межвитковая индуктивность L=0.0264мкГн.

Рис.2.12. Амплитудно – частотная характеристика ТДЛ-10.

Вывод: рабочий частотный диапазон 100кГц – 85МГц

,

что неудовлетворяет условиям изложенных выше. Применение схемы с тремя отдельными ТДЛ рис.2.6. особых результатов не принесло. Появляется необходимость внести некоторые изменения в конструкцию ТДЛ. Используем другую схему широкополосного трансформатора рис.2.13. в виде трех симметричных длинных линий, равномерно намотанных на тороидальный магнитопровод, причем третьим проводником длинной линии служит экранированная проводящая оплетка.

Результаты исследования ТДЛ-11 (в экране).

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| f,МГц | 0,01 | 0,1 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| Uвх,мкВ | 42 | 44 | 48 | 46 | 43,5 | 41 | 37 | 29 | 26 | 26 | 29 | 29 |
| Uвых,мкВ | 126 | 140 | 150 | 148 | 145 | 140 | 118 | 94 | 90 | 84 | 70 | 54 |
| К | 3,02 | 3,18 | 3,12 | 3,21 | 3,33 | 3,41 | 3,19 | 3,24 | 3,46 | 3,23 | 2,41 | 1,86 |

Марка магнитопровода К-12; магнитная проницаемость µ=4000; диаметр проводника D=0,54мм; количество витков N=6; межвитковая емкость С=27,8пФ; межвитковая индуктивность L=0.035мкГн; ЭКР=12см.

Особенностью трансформатора является его обмотки в виде трех симметричных длинных линий, равномерно намотанных на тороидальный магнитопровод, причем третьим проводником длинной линии служит экранированная проводящая оплетка.

Рис.2.14. Амплитудно – частотная характеристика ТДЛ-11.

Вывод: рабочий частотный диапазон 10кГц – 85МГц

,

что удовлетворяет условиям изложенным выше. С целью увеличения КШ используем провод меньшего сечения D=0,33мм; N=7; ЭКР=10см.



|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| f,МГц | 0,01 | 0,1 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| Uвх,мкВ | 42 | 47 | 50 | 47 | 42 | 40 | 26 | 24 | 20 | 19,5 | 23,5 | 28 |
| Uвых,мкВ | 126 | 145 | 150 | 145 | 140 | 130 | 82 | 74 | 61 | 50 | 40 | 30 |
| К | 3,02 | 3,09 | 3,0 | 3,08 | 3,33 | 3,25 | 3,15 | 3,08 | 3,05 | 2,55 | 1,7 | 1,07 |

Марка магнитопровода К-12; магнитная проницаемость µ=4000; диаметр проводника D=0,33мм; количество витков N=7; межвитковая емкость С=29,3пФ; межвитковая индуктивность L=0.043мкГн; ЭКР=10см.

Рис.2.15. Амплитудно – частотная характеристика ТДЛ-12.

Вывод: уменьшение диаметра провода и длины экранирующей оплетки ожидаемых результатов не принесло КШ=7000. Поэтому снова увеличим диаметр провода до ЭКР=2см.

Результаты исследования ТДЛ-13

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| f,МГц | 0,01 | 0,1 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| Uвх,мкВ | 32 | 34 | 45 | 44 | 41 | 30 | 24 | 21,5 | 18,5 | 23 | 28 | 33 |
| Uвых,мкВ | 96,4 | 105 | 145 | 148 | 140 | 110 | 84 | 74 | 60 | 58 | 44 | 32 |
| К | 3,02 | 3,08 | 3,22 | 3,36 | 3,41 | 3,33 | 3,5 | 3,44 | 3,24 | 2,52 | 1,57 | 1,03 |

Марка магнитопровода К-12; магнитная проницаемость µ=4000; диаметр проводника D=0,54мм; количество витков N=7; межвитковая емкость С=29,3пФ; межвитковая индуктивность L=0.043мкГн; ЭКР=2см.

Рис.2.16. Амплитудно – частотная характеристика ТДЛ-13.

Вывод: рабочий частотный диапазон 10кГц – 75МГц

,

что удовлетворяет условиям изложенным выше. Для увеличения КШ увеличим длину экранирующей оплетки ЭКР=11см.

Результаты исследования ТДЛ-14

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| f,МГц | 0,01 | 0,1 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| Uвх,мкВ | 42 | 46 | 50 | 47 | 43 | 41,5 | 37,5 | 21,5 | 23,5 | 24 | 26,5 | 29 |
| Uвых,мкВ | 126 | 140 | 152 | 150 | 148 | 140 | 115 | 80 | 84 | 80 | 68 | 48 |
| К | 3,0 | 3,04 | 3,04 | 3,2 | 3,44 | 3,37 | 3,06 | 3,72 | 3,57 | 3,33 | 2,56 | 1,65 |

Марка магнитопровода К-12; магнитная проницаемость µ=4000; диаметр проводника D=0,54мм; количество витков N=6; межвитковая емкость С=29,3пФ; межвитковая индуктивность L=0.043мкГн; ЭКР=11см.

Рис.2.17. Амплитудно – частотная характеристика ТДЛ-14.

Вывод: с увеличением длины экранирующей оплетки до ЭКР=11см диапазон рабочих частот расширился до

.

Результаты исследования ТДЛ-15

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| f,МГц | 0,01 | 0,1 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
| Uвх,мкВ | 50 | 50 | 49 | 48 | 46 | 44 | 39 | 37,5 | 38 | 42 |
| Uвых,мкВ | 150 | 150 | 155 | 150 | 150 | 145 | 135 | 115 | 108 | 92 |
| К | 3,0 | 3,0 | 3,16 | 3,12 | 3,26 | 3,29 | 3,46 | 3,06 | 2,84 | 2,19 |

Марка магнитопровода К-20; магнитная проницаемость µ=4000; диаметр проводника D=0,84мм2; количество витков N=6; межвитковая емкость С=93пФ; межвитковая индуктивность L=0.03мкГн.

Рис.2.18. Амплитудно – частотная характеристика ТДЛ-15.

Таким образом, в результате проработки 15ти вариантов широкополосных трансформаторов были выявлены наилучшие характеристики у ТДЛ-11 (КШ=8500) и ТДЛ-14 (КШ=8500) максимально удовлетворяющие требованиям технического задания.

Вывод: в результате исследований появилась необходимость выявить оптимальное решение между µ сердечника и количеством витков W, технологию намотки (плоская, скручиваемая, намотанная). Также получены следующие рекомендации по намотке ТДЛ:

Для расширения диапазона рабочих частот «вверх» - число витков должно быть минимальным, а сердечник – с меньшим диаметром.

ρ≈50 Ом (т.е. больший диаметр провода D≈0.52-1мм).

µ сердечника – максимальное.

Для расширения диапазона «вниз» µ необходимо снижать, а диаметр сердечника увеличивать.

Чем больше скруток, тем меньше ρ.

Чем толще провод, тем меньше ρ.

**3. Анализ и исследование оптимального варианта ТДЛ**

В общем решении задачи синтеза широкополосных трансформирующих цепей без потерь, служащих для согласования активных сопротивлений, можно выделить два этапа. Первый из них состоит в установлении принципа построения трансформатора, позволяющего определить его схемную структуру. Второй этап заключается в отыскании элементов цепи (значений индуктивностей и емкостей, волновых сопротивлений и длин линий). Во всех случаях для упрощения численных расчетов, повышения их точности и выявления общих закономерностей целесообразно установить пути аналитического определения возможно большего числа параметров.

Для дальнейшего исследования выбираем широкополосный трансформатор ТДЛ-11 и ТДЛ-14 поскольку они показали наилучшие характеристики. Критерием выбора послужил КШ=8500.

Как известно, для достижения наибольшей полосы рабочих частот в широкополосном трансформаторе должно быть выполнено условие постоянства волнового сопротивления по всей длине линии передачи.

Волновое сопротивление ТДЛ-11:

 (3.1)

Волновое сопротивление ТДЛ-11:

 (3.2)

Рассмотрим ТДЛ 1:3, нагруженный на входе и выходе (рис. 3.1). Для него дуальная схема приведена на рис.3.2.

Сопоставляя схемы на рис. и рис., видим, что они идентичны. Это означает, что схема рассматриваемого ТДЛ является самодуальной, т.е. . Самодуальной будем называть структуру, дуальная которой тождественна исходной, имея в общем случае различающиеся параметры.

Для согласования при необходимо, чтобы напряжение на выходе второй ступени () было в 3 раза больше входного напряжения и имело обратный знак. Отсюда следует, что . В результате имеем систему уравнений:

, (3.3)

из которой следует, что

, а .

Соотношение волновых сопротивлений во взаимосвязи с сопротивлениями сигнала и нагрузки при бесконечной длине линий должно удовлетворять уравнению[1]:

; (3.4)

Из рассмотрения эквивалентной схемы ТДЛ на низкой частоте (рис. 3.3), получим для отношения мощности, выделяемой в нагрузке РН, к номинальной мощности источника возбуждения РВХ [1]:

; (3.5)

 (3.6)

;

*L*- индуктивность первичной обмотки при частоте .

Рис.3.3.

Приняв на нижней частоте диапазона fН допустимое уменьшение мощности на 3 дБ, получим для требуемой индуктивности первичной обмотки: .

**4. Разработка широкополосного высоколинейного экспериментального усилителя на основе выбранного оптимального ТДЛ**

Необходимо разработать усилитель, функционирующий в диапазоне частот 0.01-100 МГц с усилением 12±1 дБ и динамическим диапазоном по нелинейности (интермодуляционным составляющим) второго и третьего порядков 90-120 дБ, допускающим уровень блокирующей помехи менее 1.5В, при котором δБЛ≤20%. Спроектировать в соответствии с требованиями, предъявляемыми к современным перспективным широкополосным усилителям (ШПУ). Усилитель в рабочем диапазоне частот имеет следующие технические показатели:

коэффициент усиления - 12±1 дБ;

коэффициент шума – не более 3.0 дБ;

входные и выходные сопротивления – в пределах 30-80 Ом;

сопротивления источника сигнала (генератора) и нагрузки – 75 Ом;

нелинейные искажения, оцениваемые динамическим диапазоном по интермодуляции третьего порядка, - 90-120 дБ;

напряжение питания при токе потребления 100мА - 15±1В;

амплитуда блокирования помехи не менее 1.5В;

Рис.4.1. Принципиальная схема усилителя.

На основании проработки и анализа оптимальных технических решений, взят за основу усилитель на линейном транзисторе 2Т339А [А.С. №1166270 Авт. Невмержицкий Г.И., Сартасов Н.А., Симонтов И.М., Тихонов А.И. Бюл.25 07.07.85. Широкополосный усилитель], в результате чего разработан и исследован наиболее перспективный его вариант на входе и выходе которого включены выбранные ТДЛ-11 и ТДЛ-14 соответственно, волновое сопротивление (ρ) которых полностью определяет широкополосность усилителя. Принципиальная схема усилителя приведена на рис.4.1. В схеме использованы трансформаторы разработанные в разделе № 3.

Коэффициент усиления

,

где и - соответственно действующее значение выходного и входного напряжений усилителя (при частоте ), измеряется в диапазоне частот по схеме рис.4.2. Экспериментальные данные сведены в таблицу 4.1.

Рис.4.2. Схема для измерения коэффициента усиления, входного и выходного сопротивлений усилителя.

Для достижения в ТДЛ максимальной широкополосности ДЛ согласуют с источником сигнала и нагрузки , т.е. как со стороны входа, так и со стороны выхода усилителя.

,

где и - соответственно действующее значение выходного и входного напряжений усилителя (при частоте ).



|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| f,МГц | 0,01 | 0,05 | 0,1 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| UВХ,мВ | 21 | 24 | 70 | 86 | 72 | 60 | 45 | 35 | 50 | 60 | 82 | 88 | 78 |
| UБ,мВ | 5,0 | 8,0 | 23 | 32 | 28 | 28 | 25 | 27 | 26 | 27 | 24 | 14 | 16 |
| UВЫХ,мВ | 67,2 | 115 | 380 | 520 | 550 | 500 | 470 | 500 | 400 | 300 | 300 | 200 | 80 |
| КЗ | 48 | 55 | 58 | 62 | 64 | 65 | 65 | 60 | 62 | 60 | 58 | 45 | 43 |
| КУ | 3,2 | 4,8 | 5,4 | 6,0 | 7,6 | 8,3 | 10,4 | 14,3 | 8,0 | 5,0 | 3,6 | 2,3 | 1,02 |
| ДКЗВЫХ,дБ | 100 | 100,3 | 101,3 | 102,6 | 103,3 | 103,6 | 103,6 | 104 | 102,6 | 102 | 101,3 | 97 | 82,3 |
| IP3ВЫХ | 36,0 | 38,5 | 40 | 42,7 | 43 | 44,2 | 44,2 | 44,5 | 42,7 | 42 | 40 | 33,7 | 22,8 |
| RВХ,Ом | 6,0 | 23,68 | 175 | 460,7 | 192,8 | 112,5 | 61,36 | 40,38 | 75 | 112,5 | 341,6 | 550 | 266 |

Основным показателем, характеризующим амплитуду напряжений продукта нелинейного преобразования на выходе усилителя, является коэффициент нелинейности интермодуляционных (комбинационных) составляющих соответствующих порядков. В частности, для составляющей третьего порядка этот коэффициент определяется формулой:

,

где - амплитуда напряжения третьего порядка на выходе усилителя; - амплитуда напряжения выходного полезного сигнала с частотой . Коэффициент нелинейности измеряется в диапазоне частот по схеме рис.4.3 двухсигнальным методом. Результат измерений приведен в таблице 4.1.

Широкополосность усилителя в целом определяется нижней и верхней граничными частотами, на которых коэффициент усиления уменьшается на 3 дБ (1.7 раз). При этом нижняя граничная частота определяется максимальным значением магнитной проницаемости µ≥4000 и наибольшим числом витков.

Рис.4.3. Схема для измерения коэффициента нелинейности К3 двухсигнальным методом.

Верхняя граничная частота усилителя определяется максимальной граничной частотой биполярного транзистора (БПТ), а также минимальными геометрическими размерами ферритового кольца. При этом для уменьшения входного сопротивления усилителя на низких частотах необходимо увеличить погонную емкость С, что достигается скручиванием проводников.

Кроме того, для уменьшения шумов и нелинейных искажений в схему ШПУ введена «бесшумная» отрицательная обратная связь (ООС) по току за счет дополнительной обмотки , шунтирование которой резистором малой величины компенсирует ограничение широкополосности из-за введения ООС.

Рис.5.4. Амплитудно - частотная характеристика экспериментального усилителя функционирующий в диапазоне частот 10кГц – 85МГц

Рис.5.5. Экспериментальная зависимость величины входного сопротивления RВХ от частоты усилителя.

Рис.5.6. Зависимость величины динамического диапазона ДКЗ по интермодуляциии третьего порядка от частоты усилителя.

Для обеспечения определенного качественного усиленного сигнала приходится задавать, с одной стороны, минимально допустимое отношение сигнал/шум или сигнал/фон, ограничивающее минимальный уровень усиливаемых сигналов, а с другой, максимально допустимую нелинейность усилителя, что ограничивает наибольший уровень усиливаемых сигналов. Отношение максимального сигнала к минимальному (в любой, но одной и той же точке усилителя, например на выходе) при определенных критериях качества выходного сигнала называется динамическим диапазоном усилителя.

Динамический диапазон Д, дБ,

 (4.1)

где - коэффициент нелинейности интермодуляционной (комбинационной) составляющей третьего порядка, - амплитуда напряжения выходного полезного сигнала с частотой .

Точка пересечения третьего порядка, т.е. точка при которой комбинационная составляющая была равна зондирующему входному сигналу.

Рис.4.7. Зависимость параметра нелинейности третьего порядка IP3 от частоты усилителя.

Особенностью такого усилителя является его сверхширокополосность, минимальные нелинейные искажения, шумы и потребляемая мощность, а также стабильность параметров при изготовлении и эксплуатации, технологичность изготовления, что достигается с помощью схемы на биполярном транзисторе с параллельной отрицательной обратной связью по напряжению и бесшумной ООС – по току, а также включением в нагрузку усилителя трансформатора типа длинной линии.

**5. Технико-экономический расчет**

**5.1 Расчет стоимости покупных комплектующих изделий**

Таблица 5.1

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование | Габариты | Количество | Стоимость за ед. | Стоимость, руб. |
| Провод | d=0,45 мм | 0,5 м | 1,2 руб./м | 0,6руб. |
| Сердечник | d=20 мм | 1 шт. | 40 руб. | 40руб |
| Кембрик | d=0,4 мм | 0,2 м | 20 руб./м | 4руб |
|  Итог 44,6руб. |

Стоимость провода:

Стоимость всех комплектующих:

**5.2 Определение трудовых затрат на этапе изготовления**

Таблица 5.2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование работ | Плата на изготовление, руб. | Накладныерасходы, руб. | Налог, руб. | Итог,руб. |
| Намотка провода насердечник | 600 | 180 | 231 | 1011 |

Заработная плата на изготовление:

где - стоимость одного часа работы; - число часов работы в день; - количество дней работы.

Накладные расходы составляют 30 % от заработной платы:

Налоги составляют 38,5 % от заработной платы:

Реализация данного устройства с экономической точки зрения обойдется:

**5.3 Смета затрат на изготовление данного продукта приведена в таблице 5.3**

Таблица 5.3.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| №п/п | Наименование статьи расхода | Цена заединицу, руб. | Кол-во | Стоимость,руб. |
| 1 | Затраты на приобретение комплектующих материалов | — | — | 44.6 |
| 2 | Основная заработная платаперсонала. | — | — | 600 |
| 3 | Накладные расходы. | — | 30% | 180 |
| 4 | Налог | — | 38,5 % | 231 |
| ИТОГО: | 1055.6 |

**6. Охрана труда**

**6.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов на рабочем месте**

Вредный производственный фактор – фактор среды и трудового процесса, который может вызвать профессиональную патологию, временное, временное или стойкое снижение работоспособности, повысить частоту соматических и инфекционных заболеваний, привести к нарушению здоровья потомства.

Опасный производственный фактор – фактор среды и трудового процесса, который может быть причиной острого заболевания или внезапного резкого ухудшения здоровья, смерти.

Гигиенические нормативы условий труда – уровни вредных производственных факторов, которые при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должны вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдалённые сроки жизни настоящего и последующих поколений.

Безопасные условия труда – условия, при которых воздействие вредных и опасных производственных факторов исключено или их уровни не превышают гигиенических нормативов.

При изготовлении широкополосного трансформатора производится изготовление обмотки с нанесением изоляционного материала, монтаж обмотки на тороидальный сердечник.

В соответствии с ГОСТ 12.0.003-74 реальные производственные условия подразделяются на опасные и вредные производственные факторы.

Примерами опасных и вредных производственных фактов, действующих при изготовлении, а в ряде случаев и при эксплуатации, радиоэлектронных средств, могут служить:

повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны;

повышенная загазованность воздуха рабочей зоны;

повышенная запыленность воздуха рабочей зоны;

пониженная подвижность воздуха рабочей зоны;

повышенное значение напряжения в электрической сети, замыкание которой может произойти через тело человека;

недостаточная освещенность рабочей зоны;

неблагоприятная электромагнитная обстановка рабочей зоны;

повышенный уровень электромагнитных излучений;

недостаточное естественное освещение.

Исходя из конкретных условий производства и эксплуатации, можно выделить следующие пути возникновения опасных условий для производственного персонала и пользователей.

*Шум.*

С физической точки зрения шумом является всякий нежелательный, неприятный для восприятия человека звук.

Шум, неблагоприятно воздействуя на органы человека, вызывает психические и физиологические нарушения, снижающие работоспособность и создающие ряд общих и профессиональных заболеваний и производственный травматизм.

Нормативным документом, регламентирующим уровни шума для различных категорий рабочих мест служебных помещений, является ГОСТ 12.1.003-83 “ССБТ. Шум. Общие требования безопасности”.

Нормы шума в лаборатории указаны в таблице 6.1.

Таблица 6.1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Рабочее место | Уровни звукового давления, дБ, в составных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц | Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА |
| 31,5 |  63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| Рабочие места в помещениях цехового управленческого аппарата, в рабочих комнатах конторских помещений, лабораториях |  93 |  79 |  70 |  63 |  58 |  55 |  52 |  50 |  49 |  60 |

*Микроклимат.*

Метрологические условия – оптимальные и допустимые температуры, относительная влажность и скорость движения воздуха – устанавливаются для рабочей зоны производственных помещений в соответствии с ГОСТ 12.1.005-88.

Гигиенические требования к показателям микроклимата производственных помещений приведены в СанПиН 2.2.4.548-96.

Показатели микроклимата должны обеспечивать сохранение теплового баланса человека с окружающей средой и поддержание оптимального или допустимого теплового состояния организма. Все эти параметры следует принимать на тёплый , холодный и переходный периоды года, исходя из тяжести работ, назначения помещений и избытка явного тепла.

Под микроклиматом в производственных помещениях понимается климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также температуры окружающих поверхностей.

В соответствии с Сан-ПиН 2.2.4.548-96 приведём оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне помещений (таблица 6.2).

*Воздух рабочей зоны.*

Одним из необходимых условий безопасного и производительного труда является обеспечение чистоты воздуха.

При изготовлении широкополосного трансформатора ряд операций сопровождается выделением в воздух вредных веществ. К таким операциям относятся: работа с паяльником, нанесение лакокрасочных покрытий. Вредные вещества попадают в организм главным образом через дыхательные пути, а также через кожу. В результате воздействия вредных веществ могут возникать профессиональные заболевания.

Содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны не должно превышать предельно допустимых концентраций (ПДК) этих веществ. Нормы ПДК некоторых вредных веществ приведены в таблице 6.3.

Таблица 6.3.

|  |  |
| --- | --- |
| Наименование вещества |  ПДК, мг/м3 |
| СвинецКадмийЦинкОловоСпирт этиловыйАмины алифатические |  0,010,1 0,50,110001 |

Предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны помещений приведены в ГОСТе 12.1.005-88.

Воздух, удаляемый системами вентиляции и содержащий пыль, вредные вещества или неприятно пахнущие вещества, перед выбросом в атмосферу должен очищаться с тем, чтобы в атмосферном воздухе населённых пунктов не было вредных веществ, превышающих санитарные нормы.

*Освещённость.*

Освещение рабочего места – важнейший фактор создания нормальных условий труда. Практически возникает необходимость освещения как естественным, так и искусственным светом.

Естественное освещение характеризуется отношением естественной освещённости земной поверхности от небосвода выраженным в процентах.

Искусственное освещение необходимо создавать такое, при котором суммарный световой поток от всех установленных в рабочей зоне светильников распределён равномерно.

Нормирование искусственного, естественного и совмещенного освещения осуществляется по СНиП 23.05-95 таблица 6.4.

Таблица 6.4

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Характеристика типа зрительных работ | Разряд, подразряд | Освещённость при искусственном освещении, лк | КЕО при естественном освещении, % | КЕО при совмещённом освещении, % |
| Высокой точности |  IIIб | комбинированном |  общем |  боковом |  боковом |
|  1000 |  300 |  1,6 |  1,2 |

*Электрический ток.*

При эксплуатации и изготовлении широкополосного трансформатора возникает опасность поражения пользователя электрическим током.

Проходя через организм, электрический ток оказывает термическое, электролитическое и биологическое действие.

Термическое действие выражается в ожогах отдельных участков тела, нагреве кровеносных сосудов и других тканей. Электролитическое действие является особым специфическим процессом разложения крови и других жидкостей, что вызывает значительное нарушение их физико-химических свойств. Биологическое действие – процесс раздражения и возбуждения живых тканей, а также нарушение внутренних биоэлектрических процессов.

Наиболее опасным для человека считается переменный ток частотой 50-60 Гц, силой 0,1 А, напряжением свыше 250 В. При токе 0,04-0,1 А может наступить потеря сознания, а в ряде случаев и смерть. Опасным является не только ток высокого напряжения (выше 220 В), но и низкого, поэтому следует проявлять осторожность при обращении с электрооборудованием, работающим при низких напряжениях. Ток напряжением более 12 В является опасным при проведении работ в сырых местах.

Основная причина несчастного случая от воздействия электрического тока при эксплуатации устройств такого типа – появление напряжения на металлическом корпусе в результате повреждения изоляции и других причин.

**6.2 Меры по снижению и устранению опасных и вредных факторов**

*Шум.*

При изготовлении и эксплуатации данного трансформатора на органы слуха человека оказывает влияние шум, издаваемый станочными приборами. Нормы шума в лаборатории находятся в пределах, регламентированных ГОСТом 12.1.003-83. В связи с этим нет необходимости принятия каких либо мер по снижению и устранению данного фактора. В случае возникновения шума применяются шумоизолирующие материалы и покрытия, индивидуальные средства защиты и т.д.

*Микроклимат.*

Оптимальный микроклимат в помещении обеспечивает поддержание теплового равновесия между организмом и окружающей средой. Поддержание на заданном уровне параметров, определённых микроклиматом: температуры, влажности, скорости движения воздуха, может осуществляться с помощью кондиционирования или большого доступа вентиляции, а также с помощью отопительных приборов.

*Воздух рабочей зоны.*

Мероприятия по оздоровлению воздушной среды:

− механизация и автоматизация производственных процессов, дистанционное управление ими;

− применение технологических процессов и оборудования, исключающих образование вредных веществ или попадание их в рабочую зону;

− защита от источников тепловых излучений;

− устройства вентиляции и отопления;

− применение индивидуальных средств защиты.

Задачей вентиляции является обеспечение чистоты воздуха и заданных метрологических условий в помещениях. Вентиляция достигается удалением загрязнённого или нагретого воздуха из помещения и подачей в него свежего воздуха. Вытяжные шкафы (местная вытяжная вентиляция) находят широкое применение при термической и гальванической обработке металлов, окраске, лужении и других операциях, связанных с выделением вредных газов и паров.

*Освещённость.*

В лаборатории, где производится разработка данного трансформатора, необходимо кроме общего освещения предусмотреть местное на каждом рабочем месте.

В качестве источников света для общего освещения выберем люминесцентные лампы вместо ламп накаливания, т.к. люминесцентные лампы более экономичны и их спектр излучения близок к естественному свету.

Для местного освещения, кроме разрядных источников света, будем использовать лампы накаливания, т.к. они имеют меньший коэффициент пульсации и, соответственно, оказывают меньшее воздействие на зрительный аппарат человека.

*Электрический ток.*

Основными мероприятиями по защите человека от поражения электрическим током являются: применение малых напряжений, использование двойной изоляции, выравнивание потенциала, защитное заземление электрического оборудования, а также предметов, на которых могут появляться статические электрические заряды.

Все помещения делятся на три класса по степени поражения людей электрическим током: без повышенной опасности, с повышенной опасностью и особо опасные.

Помещение, в котором находится лабораторный стенд, относится к классу “без повышенной опасности”, т.е. сухое помещение, в котором влажность не превышает 60%, нет возможного одновременного прикосновения к корпусам электрического оборудования, а также к заземлённым частям, температура воздуха не превышает 35°С.

**6.3 Расчёт необходимого воздухообмена для создания на месте монтажа санитарно-гигиенических условий**

При изготовлении и монтаже широкополосного трансформатора производилась пайка с использованием канифольно-спиртового флюса (40% канифоли и 60% спирта) и припоя ПОС-40 (олова 40%, свинца 60%). Суммарный расход припоя на рабочем месте в среднем ежечасно составляет 10 г, причём 10% припоя распостраняется в виде аэрозоля. Суммарный расход флюса ежечасно составляет 30 г, причём 30% флюса распостраняется в виде туманов и газов.

Лаборатория снабжена местной вытяжной вентиляцией в виде панелей равномерного всасывания со скоростью всасывания V=1,5 м/с. Суммарная площадь отводных панелей составляет Fп = 6 м2.

Определим необходимый воздухообмен для нормальных санитарно- гигиенических условий на месте монтажа.

На рабочем месте выделяются следующие вредные вещества: пары канифоли, которые относятся к алифатическим аминам с КПД=1мг/м3, согласно таблице 6.4; пары спирта этилового с ПДК=1000мг/м3; пары свинца с ПДК = 0,01мг/м3; пары олова с КПД = 0,1мг/м3. Определим количество вредных веществ, выделяющихся ежечасно в рабочей зоне в виде аэрозолей и газов:

Ск = 30⋅0,3⋅0,4 = 3,6 г;

Ссп = 30⋅0,3⋅0,6 = 5,4 г;

СOl = 10⋅0,1⋅0,4 = 0,4 г;

СPb = 10⋅0,1⋅0,6 = 0,6 г.

Выделяющиеся вредные вещества являются равнонаправленными, поэтому необходимый воздухообмен определяем по тому веществу, для удаления которого необходимо наибольшее количество воздуха. Определим количество воздуха, необходимого для удаления каждого вредного вещества ежечасно, считая, что данное вещество в приточном воздухе отсутствует:

м3;

м3;

м3;

м3.

Следовательно, необходимый воздухообмен должен рассчитываться по ПДК аэрозоля свинца.

Определённое количество воздуха с загрязнениями удаляется ежечасно с рабочих мест местной вентиляцией:

Lмест = 3600⋅1,5⋅6 = 32400 м3.

Как видно из полученных расчётов, местная вытяжная вентиляция не справляется, поэтому необходимо провести интенсификацию местных отсосов (за счёт увеличения площади панелей или скорости отсоса), либо наряду с местными отсосами ежечасно осуществлять обще обменную вентиляцию в следующем объёме:

Lобщ = 60000 − 32400 = 27600 м3.

Если полученное значение расчётного количества воздуха вызывает затруднения с реализацией по производительности, или каким либо другим причинам, можно перераспределить доли удаляемого воздуха между обще обменной и местной вентиляцией.

**6.4 Пожарная безопасность**

Горение – это химическая реакция окисления, сопровождающаяся выделением большого количества тепла и света.

Пожар это неконтролируемое горение вне специального очага, наносящее материальный ущерб.

Для возникновения горения достаточно наличия вещества, окислителя и источника зажигания.

Пожарная безопасность – это состояние объекта, при котором исключается возможность пожара и обеспечивается защита материальных ценностей.

С учётом этого разрабатываются профилактические мероприятия и система защиты. На каждом предприятии есть пожарная охрана.

Категория по пожарной безопасности лаборатории – Д, т.к. в ней находятся негорючие вещества и материалы в холодном состоянии (в соответствии с НПБ 105-95).

В целях пожарной безопасности, помещение, в котором производятся работы, должно быть оснащено огнетушителями.

**Заключение**

В дипломном проекте проведены анализ и исследование вопросов, связанных с разработкой широкополосных трансформаторов типа длинной линии (ТДЛ).

Благодаря новой идеологии, основанной на патентных исследованиях, а также связанной с конструкцией, типом намотки, выбором сердечника и другими техническими факторами, удалось достигнуть практически идеальной фазовой характеристики в полосе частот 10кГц – 85МГц (рис. 3.14 и рис.3.17), т.е. получить коэффициент широкополосности порядка *8500* раз.

В известных высокочастотных трансформаторах удовлетворительные фазовые характеристики достигаются лишь в полосе рабочих частот при коэффициенте широкополосности 30 – 200 раз.

На основе разработанных широкополосных трансформаторов ТДЛ-11 (*КШ=8500*, ) и ТДЛ-14 (*КШ=8500*, ), построен усилитель (рис. 5.1), функционирующий в диапазоне частот 5кГц – 80МГц (рис.5.4) с усилением 12±1 дБ и динамическим диапазоном по нелинейности (интермодуляционным составляющим) второго и третьего порядков 90-120 дБ, допускающим уровень блокирующей помехи менее 1.5В, при котором δБЛ≤20%.

Существенный экономический эффект, достигаемый за счет сокращения элементов при построении известных усилителей с учетом необходимости изготовления нескольких усилителей для перекрытия широкого диапазона частот, составляет 100000 руб. на партию из 100 усилителей.

Кроме того, получены новые результаты, которые могут составить предмет заявки на предполагаемое изобретение.

**Список литературы**

Справочник по высокочастотным трансформаторным устройствам. /С.Е. Лондон, С.В. Томашевич. – М.: Радио и связь, 1984.

Исследование автотрансформатора типа длинной линии /Э.В. Зелях, А.Л. Фельдштейн, Л.Р. Явич, В.С. Брилон. – Радиотехника, 1982, т. 37, №5.

Широкополосное устройство для согласования и симметрирования. /Кузнецов В.Д., Парамонов В.К. – Электросвязь, 1968, №11.

Широкополосные радиопередающие устройства. /С.Е. Лондон – Л.: Энергия, 1970.

Синтез входных и выходных цепей широкополосных усилителей. /Полякова Л.Н. – М.: Связь,1966.

Широкополосные радиопередающие устройства. / О.В. Алексеев, А.А. Головков, В.В. Полевой, А.А. Соловьев. – М.: Связь, 1978.

Анализ удельной мощности потерь в ферритовых сердечниках мощных высокочастотных трансформаторов. /Розенбаум Л.Б. – Вопросы радиоэлектроники. Сер. ТРС, 1975, вып. 6.

Ферриты для сердечников мощных высокочастотных трансформаторов. /Изергина Е.В. – Электронная техника, сер. VII, 1969, №3.

Проектирование радиопередающих устройств /Под. Ред. В.В. Шахгильдяна. – М.: Связь, 1986.

Some broad-band transformers. /Ruthrolff C.L. – PIRE, 1959, N8.

Фильтры и цепи СВЧ устройства: Пер. с англ./Под ред. А.Е. Знаменского. – М.: Связь, 1976.

Трансформаторы для радиоэлектроники. /Бальян Р.Х. – М.: Советское радио, 1971.

Imput impedance analysis of 1: - 1 balun. /Shimada Y. - IEEE Trans., 1970, MTT – 18, N5.

Лабораторный практикум по основам измерительной техники. /С.В.Бирюков, А.В.Бубнов, А.И.Тихонов. М/У О.: 2002.