

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ ОПТИМИЗАЦИИ СОГЛАСУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

В. В. Тимофеев

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова
г. Барнаул

При всём разнообразии схемных решений согласующие устройства (СУ) выполняют одну и ту же задачу – трансформируют комплексное входное сопротивление антенно-фидерного устройства (АФУ) в низкоомное стандартного номинала 50 или 75 Ом, на которое рассчитан выходной каскад радиопередающего аппарата (РПА), и компенсируют реактивную составляющую в широком диапазоне частот. В англоязычной литературе такие устройства называются ATU (сокращение от antenna tuner unit).

Имеющиеся устройства обладают достаточно ограниченной функциональностью, поскольку одни из них имеют недостаточно широкий диапазон согласуемых входных сопротивлений антенн, другие в недостаточной степени компенсируют реактивную компоненту входного импеданса, третьи имеют алгоритм работы системы управления, не в полной мере отвечающий решению поставленных задач согласования.

Наличие многофакторных взаимозависимостей, которые объединяют анализируемые параметры рассматриваемых СУ, соответственно, требует их разносторонней оценки. По результатам этой оценки и возникает возможность оптимизация СУ.

Сущность оптимизации в таком случае заключается в поиске оптимального соотношения параметров для достижения компромисса, при этом следует отметить, что в частных случаях, учитывающих особенности конкретной прикладной задачи, соотношение оптимальных параметров может варьироваться, но аналитическая многофакторная модель остаётся неизменной.

Целью проводимого исследования ставится выявление скрытых резервов имеющихся технических решений СУ и их практическая реализация. По этой причине поиск новых направлений оптимизации является актуальной задачей, без решения которой становится проблематичной сама оптимизация.

Объектом исследования выбраны различные СУ, отличающиеся схемным решени-

ем ВЧ блока, а также схемами и алгоритмами управления коммутации компонентов [1, 3, 5]. Процесс анализа разделяется на несколько этапов: оценка достоинств и недостатков имеющихся схемных решений высокочастотных (ВЧ) блоков СУ, выбор алгоритмической базы, положенной в основу работы системы управления и оценка общего технического потенциала оптимизации СУ.

Рассмотрим варианты схемной реализации ВЧ блока СУ и проведём их разносторонний анализ для взвешенной оценки преимуществ альтернативных схем.

Во времена широкого распространения ламповых выходных каскадов РПА применение отдельных СУ было не очень актуально, поскольку П-контур, уже имевшийся в выходном каскаде, мог согласовать нагрузку выходного каскада в широком диапазоне входных импедансов АФУ. Его принципиальная схема приведена на рисунке 1.

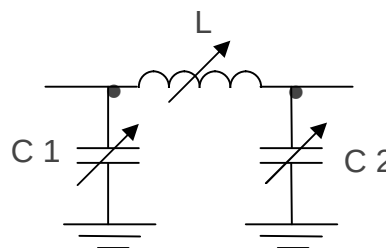


Рисунок 1 – Схема согласующего устройства типа П-контур

Классический П-контур – это уже настоящее согласующее устройство, позволяющее согласовывать импедансы в очень широком диапазоне, от десятков Ом до единиц кОм. Крупными недостатками подобной схемы являются непосредственная гальваническая связь антенны с РПА и необходимость применения очень качественных переменных конденсаторов, рассчитанных на высокие напряжения [1].

После перехода выходных каскадов РПА на транзисторную элементную базу, интерес к согласующим устройствам возрос. По-

ПОЛЗУНОВСКИЙ АЛЬМАНАХ №2 2010

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ ОПТИМИЗАЦИИ СОГЛАСУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

сколько работа транзисторного выходного каскада возможна лишь на согласованную нагрузку с нормированным входным сопротивлением, имеющим исключительно активный характер, СУ становятся неотъемлемой частью комплекта РПА. Принципиальная схема Т-образного СУ приведена на рисунке 2.

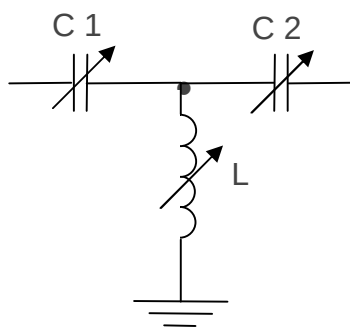


Рисунок 2 – Схема Т-образного согласующего устройства

Схема Т-образного СУ более предпочтительна по отношению к П-контур из-за меньшей требовательности к электрической прочности и величине ёмкости используемых переменных конденсаторов. В настоящее время она получила наиболее широкое распространение в устройствах подобного назначения. Схема обладает хорошей широкополосностью и не требует подстройки при изменении частоты в пределах одного диапазона. Такая схема подавляет гармоники на 10...15 дБ, в зависимости от типа согласуемой антенны и рабочей частоты [3]. Ведущие фирмы, производящие согласующие устройства, такие как MFJ и другие, в основном, придерживаются Т-образных схем.

При добавлении к индуктивности Т-образного СУ параллельного конденсатора получается наиболее узкополосная схема, но подавление гармоник в этом случае достигает 28 дБ. Такой тюнер способен работать с антеннами различного входного сопротивления – от десятка Ом до десятков кОм.

Основой схемотехники многих СУ автоматического типа (имеющих автоматическое управление), работающих в декаметровом (коротковолновом) диапазоне волн является Г-образное согласующее звено [5]. Варианты их схемного решения представлены на рисунке 3.

Они также обладают некоторыми селективными свойствами и поэтому широко применяются как в межкаскадном согласовании блоков приема-передатчиков, так и при согласовании сопротивлений в переходах АФУ, ПОЛЗУНОВСКИЙ АЛЬМАНАХ №2 2010

в частности, при их установке в основании тех вертикальных антенн, которые по ряду причин не являются диапазонными. Отметим, что оба варианта устройств, приведенных на рисунке 3, применяются для согласования с антеннами, имеющими различное сопротивление, понижение либо повышение которого зависит от того, с какой стороны включен источник ВЧ напряжения. Они являются равными как по принципу работы, так и по эффективности. Разница заключается лишь в удобстве конструктивного исполнения устройства. К основным преимуществам такого схемного решения относятся меньшее количество используемых комплектующих элементов, достаточно широкий диапазон согласуемых входных сопротивлений и более простой алгоритм настройки, в случае автоматизации процесса.

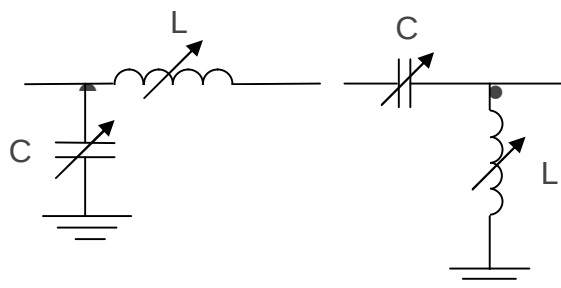


Рисунок 3 – Схемы Г-образного согласующего устройства

Основным недостатком рассматриваемого схемного решения является наличие неопределённости при первоначальном подключении устройства, обусловленной неизвестным взаимным соотношением согласуемых сопротивлений выходного каскада РПА и АФУ. Решение этой алгоритмической проблемы представляется возможным путём применения дополнительного схемного блока оценки величины входного сопротивления АФУ.

Среди рассмотренных вариантов схемной реализации ВЧ блока СУ, следует выделить с положительной стороны Г-образное СУ, в качестве исходного варианта, позволяющего продолжить техническое совершенствование имеющихся решений, как имеющее наибольший технический потенциал оптимизации.

Оптимизация подобных устройств является достаточно сложной и многогранной задачей. Кроме физических проблем, связанных с выявлением некоторого контролируемого параметра, изменение величины которого

го, предполагается использовать в качестве входной величины системы контроля и инженерных проблем, связанных с технической реализацией типа и конструкции датчика, возникает и чисто математическая задача моделирования контролируемого процесса согласования, сводящаяся к формализации поведения контролируемой системы в различных режимах работы и условиях эксплуатации, определяемых внешними воздействиями [4].

Следующим направлением оптимизации работы согласующих устройств автоматического типа, вне зависимости от схемотехники ВЧ блока, является создание эффективной системы автоматического управления процессом согласования АФУ с РПА. Основой для её создания является выработка достаточно эффективного алгоритма управления коммутацией элементов ВЧ блока.

Проблемные вопросы построения эффективной системы управления подобными устройствами затрагивают как схемотехнические, так и математические аспекты.

К схемотехническим можно отнести общую структурную схему построения ВЧ блока устройства, выбор между использованием в качестве настроечных элементов приборов с переменным значением электрического параметра C и L , либо наборов дискретных элементов; количество дискретных элементов и степень дискретизации варьируемого электрического параметра, закон изменения варьируемого электрического параметра при коммутации от элемента к элементу. Следует отметить, что электрические параметры ёмкости C , индуктивности L и электрической прочности компонентов, находятся в непосредственной зависимости от выбранной структурной схемы устройства, а также от предполагаемых входных параметров согласуемых антенн и диапазона их разброса. Кроме этого необходимо учитывать уровень выходной мощности РПА.

К математическим аспектам построения и оптимизации подобных алгоритмов следует отнести оценку диапазона входных сопротивлений согласуемых антенн, выявление и оценку реактивной компоненты входного импеданса, возникающей в процессе согласования, оценку токовых нагрузок и электрической прочности используемых компонентов согласующего устройства.

Решение задачи алгоритмизации процесса согласования вплотную связано с выбором эффективной последовательности операций изменения электрических парамет-

ров настроечных элементов устройства, либо коммутации их дискретных компонентов [2].

Поскольку практически любая антенная система, а особенно многодиапазонная, является мультирезонансной, то и минимумов КСВ, в общем случае, может быть более одного. Недостатком алгоритма управления многих опубликованных разработок автоматических согласующих устройств является прекращение процесса согласования при достижении любого неабсолютного минимума КСВ.

Таким образом, одним из направлений оптимизации СУ является создание эффективного алгоритма согласования. Использование для этих целей численных методов безусловной оптимизации функций, в прикладном аспекте рассматриваемой задачи, рассмотрены в литературе [6]. С точки зрения последующей реализации на микроконтроллерной базе наибольший интерес представляют собой элементарные методы безусловной минимизации функции одной и многих переменных.

Рассмотрев вышеперечисленные направления оптимизации, следует отметить выявленную необходимость наличия развитой системы датчиков, обеспечивающих исходной информацией о текущем состоянии согласуемой системы для получения объективной картины процесса согласования АФУ с РПА.

Адекватное реагирование системы автоматического управления процессом согласования возможно лишь при достаточном количестве входящей информации, в противном случае реализация эффективного алгоритма управления в принципе невозможна.

Вполне очевидно, что все перечисленные критерии находятся в тесной взаимосвязи. Так от схемного решения согласующего звена зависят численные значения электрических параметров компонентов, в то же время сами компоненты определяют диапазон входных параметров антенны, согласуемых устройством.

При недостаточно широком диапазоне входных сопротивлений согласуемых конкретным устройством согласования, а также компенсации реактивной компоненты входного сопротивления АФУ, устройство согласования может не справиться с поставленной задачей, т.е. оказаться бесполезным. Естественно заметить, что общее улучшение качества согласования АФУ с РПА, достигнутое за счёт применения согласующего устройства с недостаточным диапазоном согласуемых

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ ОПТИМИЗАЦИИ СОГЛАСУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

сопротивлений, благоприятно скажется на режимах работы активных элементах выходного каскада РПА. Тем не менее, в этом случае, не может идти речь о качественном выходном сигнале, излучаемом РПА [4].

Для того, чтобы в полной мере соответствовать требованиям, предъявляемым к согласующему устройству, оно должно обладать возможностью согласовывать сопротивления антенны в широком диапазоне, иметь оптимальное схемное решение согласующего звена, дискретность изменения параметров C и L должна с одной стороны быть небольшой и позволять достаточно точно согласовывать входные параметры антенны со стандартным выходом оконечного каскада РПА, обеспечивая плавность согласования во избежание пропуска точки оптимизации, с другой стороны дискретность не должна быть и слишком малой, поскольку от её величины непосредственно зависит количество дискретных элементов C и L , необходимых для обеспечения перекрытия всего диапазона изменения C и L , в свою очередь зависящих от выбранного схемного решения и необходимого диапазона значений входных параметров импеданса согласуемой антенны.

Схемное решение согласующего устройства должно позволять производить коммутации его компонентов (или их подстройку) без угрозы выхода из строя активных элементов выходного каскада РПА. Общее количество элементов согласующего звена должно быть по возможности минимальным.

В результате проведённой работы, на основе систематического подхода к исследованию поставленной задачи, выявлены направления, в которых возможно проведение эффективной оптимизации имеющихся согласующих устройств. Полученные результаты могут быть использованы как комплексно, при синтезе законченных СУ, так и по отдельности, при оптимизации отдельных структурных компонентов СУ, а также алгоритмов работы систем управления ими.

Исходя из результатов проведённого анализа путей оптимизации структурных компонентов СУ, можно выделить следующие направления совершенствования аппаратной части СУ: при построении ВЧ блока целесообразно использование Г-образное согласующее звено – решение, наиболее прием-

лемое с различных точек зрения, а также использование коммутируемых наборов дискретных компонентов L и C , вместо компонентов с переменными номиналами. Значения номиналов коммутируемых компонентов целесообразно подобрать в соответствии с некоторым законом, определяемым выбранным алгоритмом управления, для достижения максимального диапазона согласуемых значений входного импеданса АФУ при минимальном количестве самих компонентов.

Для экспериментов по оптимизации алгоритмов управления предполагается виртуализация системы управления СУ, наиболее целесообразная на этапе формирования и отладки алгоритма работы системы управления СУ. Это решение позволит реализовать алгоритм в виде программы, написанной на языке высокого уровня, что упростит её отладку. В дальнейшем же предполагается реализация выработанного алгоритма на микроконтроллерной аппаратной базе. Таким образом, последовательное решение всех описанных проблем, позволит на практике реализовать надёжное и технически совершенное автоматическое согласующее устройство.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беньковский З., Липинский Э. Любительские антенны коротких и ультракоротких волн. – М.: Радио и связь, 1983.
2. Мудров А.Е. Численные методы для ПЭВМ на языках Бэйсик, Фортран и Паскаль. – Томск: МП «Раско» при издательстве «Радио и связь» 1992.
3. Rothammel K. Antennenbuch. – Berlin: Militärverlag der DDR (VEB), 1975.
4. Тимофеев В.В. Влияние типичных внешних воздействий на качество согласования антенно-фидерного устройства с радиопередающим аппаратом. // Научная сессия ТУСУР-2008: Материалы докладов Всероссийской Научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. Ч. 1. – Томск: В-Спектр, 2008. – с. 128-130.
5. Сокольский Р. Автоматический антенный тюнер ANT-09. - Радио, 2010, № 3, С. 60-61.
6. Тимофеев В.В. Применение численных методов безусловной оптимизации функций при разработке алгоритмов работы автоматических согласующих устройств. Измерение, контроль, информатизация: Материалы XI международной научно-технической конференции./ Под. Ред. Л.И. Сучковой – Барнаул: АлтГТУ, 2010. – с. 188 - 195.