

Хотя W2FMI и не является строго сборником по балунам, он делает обзор любительской литературы, как фактической, так и фантастической, по этому вопросу.

Он также представляет результаты своих экспериментов, плюс работоспособные конструкции, которые мы можем создать.

### **Подробнее о Балуне 1:1**

Моя самая недавняя статья в CQ, озаглавленная "Подробнее О балуне 4:1" <sup>[1]</sup> представлены некоторые новые конструкции 4:1 а также оценка конструкций, которые появлялись в нашей радиолобительской литературе на протяжении многих лет. Если вы прочитали статью вы видели, что я очень критически отнесся к информации, доступной любителям, на самом деле, было показано, что очень плохой дизайн был преобразован в "несравненный" дизайн путем внесения трех простых изменений, количество бифилярных витков было изменено с 10 до 14, площадь поперечного сечения тороида была удвоена путем укладки двух вместе, а провода были покрыты Тефлоновой трубкой в результате был получен оптимальный характеристический импеданс спиральной линии передачи. Эти изменения значительно улучшили как низкочастотные, так и высокочастотные характеристики 4:1 balun.

Можно сказать, что эта статья является дополнением к статье о балуне 4:1. В данном случае речь идет о гораздо более популярном балуне 1:1. Она начинается с моего мнения о том, когда использовать балун. Хотя многое из того, что здесь написано, взято из моей статьи лета 1992 года в журнале Communications Quarterly, <sup>[2]</sup> она снова представлена здесь, поскольку некоторые из вас не подписаны на этот журнал.

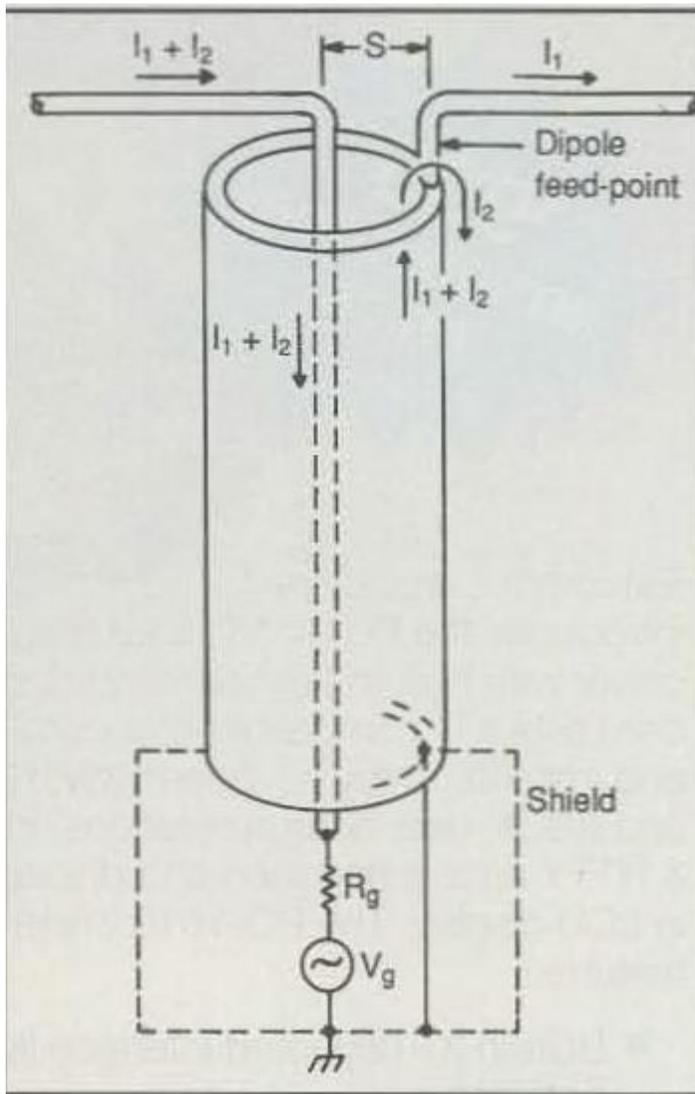
Как и прежде, основные моменты также основаны на том, что было доступно в профессиональной и радиолобительской литературе по пониманию и дизайну балуна 1:1. За этой информацией следуют некоторые из моих последних разработок. Особый интерес может представлять модель, которую я называю "экономичной". Под экономией в данном случае понимается экономия труда. Я надеюсь, что некоторые из этих балунов сконструированы и сравнены с "дорогими" (трудоемкими) моделями, также описанными в этой статье. Статья, наконец, завершается кратким резюме из важных моментов, затронутых в этом эссе. Как будет видно (еще раз), информации, доступной радиолобителям, катастрофически не хватало в течение последних 25 лет (по крайней мере).

## Когда использовать Балун

Балуны приобрели более значительную роль в последние несколько десятилетий с появлением твердотельных приемопередатчиков и линейных усилителей класса В, которые имеют несимметричные выходы, то есть напряжение на центральном проводе их выходных разъемов шасси изменяется (плюс и минус) относительно земли, во многих случаях коаксиальной кабеля используются в качестве линий передачи от этих несимметричных выходов для подключения к антеннам, таким как диполи, inverted Vee, и Yagi - лучи, которые поддерживают сбалансированное питание. В сущности, они предпочитают источник питания, клеммы которого сбалансированы (напряжения равны и противоположны) по отношению к фактическому заземлению или к виртуальному заземлению, которое делит пополам центр антенны. Часто задаваемый вопрос заключается в том, действительно ли необходим баланс 1:1.

Чтобы проиллюстрировать возникшую проблему и дать основу для моих предложений, я отсылаю вас к рис. 1. Здесь мы имеем, на входе питания диполя, два равных и противоположных тока линии передачи, каждый из которых имеет по две составляющие –  $I_1$  и  $I_2$ . Также показаны расстояния ( $S$ ) между центральным проводником и внешней оплеткой. Теоретически сбалансированная антенна со сбалансированным питанием будет иметь плоскость заземления (нулевой потенциал), разделяющую это расстояние пополам. Однако, поскольку коаксиальный канал не сбалансирован, а внешняя оплетка также в какой-то момент подключена к земле, дисбаланс существует в точка подачи, что приводит к появлению двух режимов работы антенны, один с  $I_1$  дает дипольный режим, а другой с  $I_2$  дает режим inverted - L

Если расстояние ( $S$ ) увеличивается, дисбаланс на входе питания становится больше, что приводит к увеличению тока на внешней оплетке и большему дисбалансу токов на плечах антенны, можно предпринять несколько шагов, чтобы устранить или свести к минимуму нежелательный режим инвертированного L (устранить или свести к минимуму  $I_2$ ), очевидным является использование хорошо спроектированного балуна, который не только обеспечивает сбалансированное питание, но и сводит к минимуму (по его реактивному сопротивлению подавления)  $I_2$  если коаксиальный кабель не лежит в плоскости заземления, которая делит пополам центр диполя, другим шагом является заземление коаксиального кабеля на четверть волны (или нечетное число, кратное этому) от точки подачи. Это препятствует использованию режима inverted-L, поскольку он хочет видеть высокий импеданс на этих линиях вместо низкого импеданса заземления.



**Рис. 1-** иллюстрация различных токов в точке питания диполь.

$I_1$  - представляет собой ток диполя.

$I_2$  - инвертированный ток L (дисбаланс).

Эксперименты с балунами проводились на 20-метровом полуволновом диполе на высоте  $0,17$  длины волны, который давал резонансное сопротивление  $50$  Ом, кривые КСВ сравнивались при различных условиях. Когда коаксиальный кабель находился в плоскости заземления антенны (то есть перпендикулярно оси антенны) хорошие КСВ были идентичны с хорошо спроектированным балуном или без него, где внешняя оплетка была заземлена.

Существенная разница была отмечена только тогда, когда коаксиальный кабель находился вне плоскости заземления. Когда кабель опускался под диполем под углом  $45$  градусов, происходило значительное изменение КСВ. Это означало, что режим *inverted-L* был заметен.

Следует также отметить, что направление  $I_2$ , тока дисбаланса, может зависеть от стороны, на которой коаксиальный кабель находится вне плоскости заземления диполя. Например, если он проходит под правой стороной на рис. 1 (то есть угол между горизонтальным рычагом и коаксиальным кабелем составляет менее 90 градусов с правой стороны и более 90 градусов с левой стороны), тогда направление  $I_2$  может быть изменено на противоположное из-за дисбаланса индуцированных токов на внешней стороне оплетки, а также из-за того, что коаксиальный кабель опускается с другой стороны, значение  $I_2$ , только увеличивается по величине.

Однако подача пучка Яги без специально разработанного нами Балунa 1:1. это совсем другое дело. Поскольку в большинстве конструкций Yagi используется шунтированное питание (обычно с помощью сетей согласования с помощью защелки), чтобы поднять входное сопротивление близко к 50 Ом, эффективное расстояние ( $S$ ) значительно увеличивается. Кроме того, центр приводного элемента фактически заземлен.

Таким образом, подключение внешней оплетки (которая в какой-то момент заземлена) к одной из входных клемм создает большой дисбаланс и, следовательно, реальную потребность в балансиере. Интересным решением, которое позволило бы исключить согласующую сеть, является использование понижающего преобразователя, предназначенного для подключения кабеля 50 Ом непосредственно к нижнему сбалансированному сопротивлению приводимого элемента. <sup>[3]</sup>

Подводя итог, если согласиться с теоретической моделью, представленной на рис. 1, мои эксперименты, выполненные на 20 метрах, и отчеты радиолюбителей с использованием диполей и перевернутых Vee без балуна получается, что антенны с соотношением сторон 1:1 действительно необходимы для:

(а) широкополосных антенн, где без них может иметь место сильное искажение диаграммы направленности, и

(б) диполей и инвертированных Vee,

у которых основные кабельные линии подачи выходят за пределы плоскости заземления, разделяющей антенны пополам, или которые не сбалансированы из-за их близости к земле, искусственные или естественные сооружения. В целом, необходимость в балуне не столь критична для диполей и инвертированных Vee (особенно на 40, 80 и 160 метрах), поскольку диаметр коаксиального кабельного разъема в точке подачи намного меньше длины волны.

Если моя модель, которая предполагает, что часть проблемы при питании сбалансированных антенн коаксиальным кабелем связана с размером антенны (S), показанной на рис. 1 - верно, тогда существует возможность использования форматирования up-up в сбалансированные антенны с сопротивлениями, отличными от 50 Ом, и с малыми значениями (S). Например, полуволновые диполи на высоте примерно около полуволны, четверная и центральной 3/2 - волновые диполи, все из которых имеют импеданс, близкие к 100 Ом вполне, могут быть согласованы до 50 Ом с up-up 2:1<sup>[4]</sup> Как и было задумано их значительно проще сконструировать, чем 2:1 beluns<sup>[5]</sup>. Кроме того, Genaille<sup>[6]</sup> недавно продемонстрировал значительный успех в использовании up-up в такого рода приложениях.

В заключение этого раздела я хотел бы прокомментировать статью, опубликованную Эггерсом, WA9NEW<sup>[7]</sup>, касающуюся использования балуна с полуволновым диполем. Находясь в Северной Каролине В Государственном университете, он провел экспериментальное исследование искажения структуры без балуна на частоте 1,6 ГГц в радиочастотной безэховой камере ((которая имитирует "древовидное пространство") Вкратце, его результаты показали, что при использовании балуна (типа базуки) диаграмма направленности очень выгодно отличалась от классической "восьмерки". Без балуна диаграмма направленности была сильно искажена. Несмотря на то, что автор выразил трудности с получением точных измерений на этой очень высокой частоте, у меня возникает вопрос относительно обоснованности проведения эксперимента в первую очередь, из фотографии в статье видно, что в эксперименте использовался обычный коаксиальный кабель и разъемы. Если мы примем эффективный диаметр этих компонентов равным 0,375 дюйма, то в результате масштабирования до 3,5 МГц (в 457,14 раза) в коаксиальном кабеле диаметром 14,28 фута! Я совершенно уверен, что большой интервал (S) 7.14 фута привели бы к заметному дисбалансу, что привело бы к заметному искажению диаграммы направленности даже на частоте 3,5 МГц.

## **Основные моменты важных статей о балунах 1:1**

Хотя в профессиональной и любительской литературе было опубликовано много статей, я выбрал несколько, которые, по моему мнению, оказали наибольшее влияние на использование балунов 1:1 для любительского радио, как вы увидите несмотря на то, что я считаю некоторые статьи для любителей значительными, их влияние на использование и понимание этих устройств не всегда было положительным. На самом деле, в некоторых случаях было верно как раз обратное.

## В профессиональной литературе

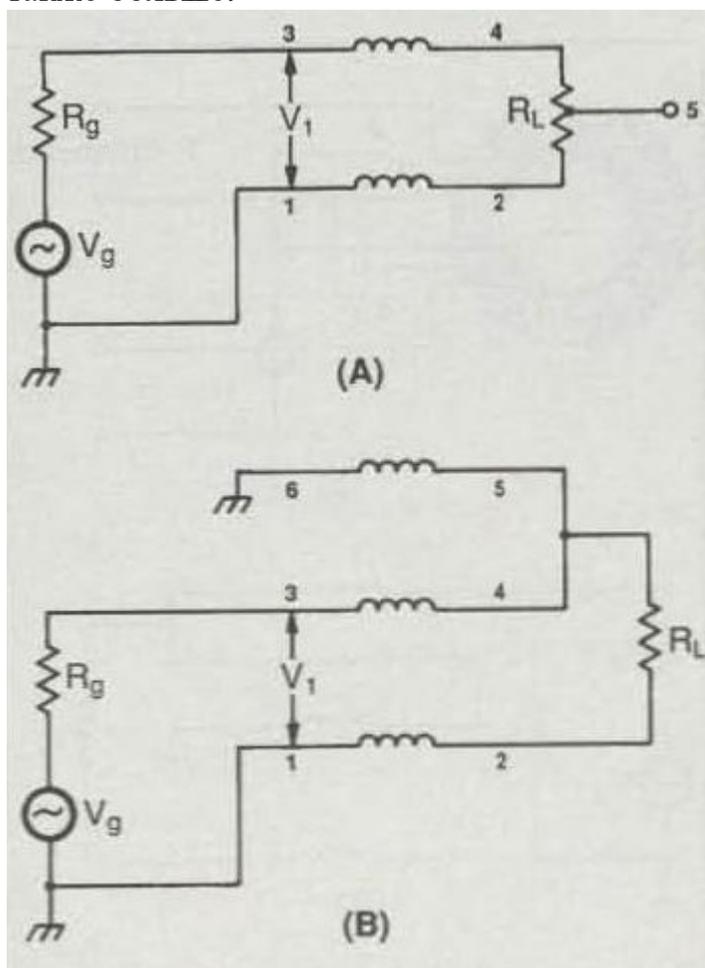
Как я отмечал в недавнем обзоре CQ article <sup>[5]</sup>, на самом деле в профессиональной литературе есть только две важные статьи, в которых излагаются фундаментальные принципы, на которых основаны теория и конструкция трансформаторов этого класса. Можно сказать, что последующие исследователи лишь по-настоящему расширили работы авторов этих двух статей.

Первая презентация о широкополосных согласующих трансформаторах, использующих линии электропередачи, была сделана Гуанеллой в 1944 г <sup>[8]</sup>. Он использовал линии электропередачи, образующие дроссель таким образом, что пропускались только токи линии электропередачи независимо от того, где к нагрузке было подключено заземление. Его одиночная спиральная линия передачи привела к распределению мощности 1:1, это показано сверху на рис.2 (А), до этого радиочастотные диапазоны достигались за счет использования четвертьволновых и полуволновых линий передачи и, как следствие, имели узкую полосу пропускания. Затем Гуанелла продемонстрировал широкополосные балуны с преобразованиями импеданса  $1: n^2$ , где  $n$  – количество линий передачи, которые он подключил последовательно-параллельным способом.

Следует отметить несколько важных моментов, касающихся балуна гуанеллы в соотношении 1:1, показанной на рис.2(А) При достаточном реактивном сопротивлении дросселирования, так что выход изолирован от входа и протекают только токи линии передачи, при заземлении клеммы 5 (фактически или виртуально, как центр диполя) клемма 4 становится  $+V/2$ , а клемма 2 становится  $-V/2$ , что приводит к сбалансированному выходу.

Этот тип балуна в последнее время получил название "токового" или "дроссельного" балуна, существенной особенностью этой модели является то, что по всей длине балуна существует потенциальный скат при  $-V/2$  линии передачи. Этот скат, который существует на обоих проводниках. на него приходится практически все потери в этих трансформаторах, поскольку механизм потерь зависит от напряжения (потери диэлектрического типа). Все трансформаторы линий электропередачи имеют определенный перепад напряжения вдоль своих линий электропередачи и, таким образом, подвержены потерям одного и того же типа. Кроме того, теория и механизм потерь одинаковы независимо от того, являются ли линии передачи коаксиальными или двухпроводными выводами, намотаны на сердечники или продеты через ферритовые кольца. Дополнительно, было показано <sup>[3]</sup>, что балуны с более высоким импедансом или балуны, подверженные воздействию

более высоких КСВ, имеют большие потери, поскольку скаты напряжения также больше.



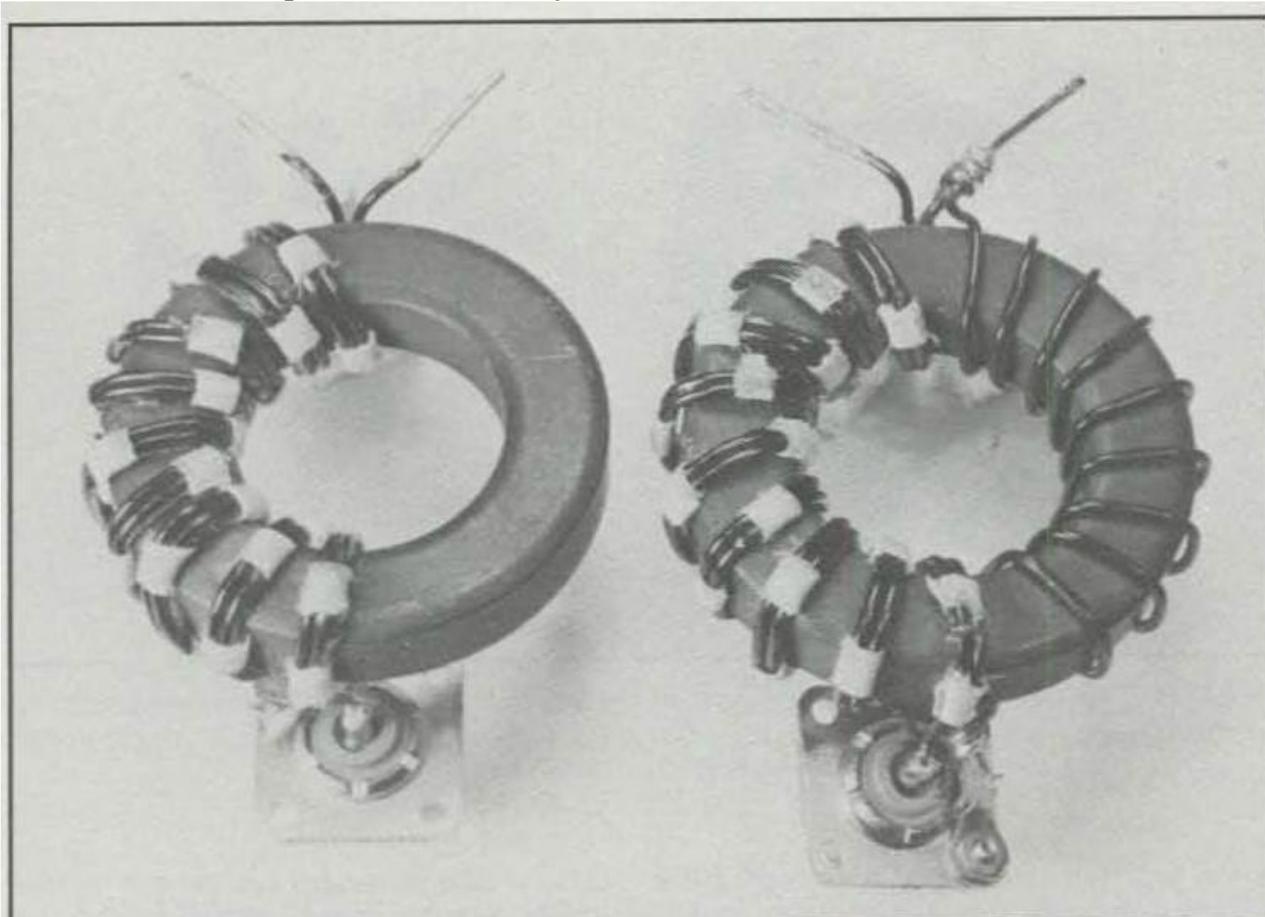
**Рис. 2-** Два варианта балуна 1:1

(А) Гуанелла балун и основной строительный материал;

(В) Балун Рутроффа в том виде, в каком он был нарисован изначально.

Вторая и другая важная статья о широкополосной передаче - трансформаторах была написана Б.В. Рутрофф в 1959 г <sup>[3]</sup>. Его балун 1:1, который показан первоначально нарисованным на рис. 2(В), использовал дополнительную обмотку, чтобы дополнить (как он сказал) путь для намагничивающего тока. Несмотря на то, что его схематический рисунок выглядел как трехфазная обмотка, его иллюстрация в статье ясно показывала, что третья обмотка (5-6) находилась на отдельной части тороида. При равном количестве витков он образует делитель напряжения с обмоткой (3-4), размещающей клемму 4 на  $+V_1/2$  и терминал 2 на  $-V_1/2$ . Автор также представил в своей классической статье свои формы балуна 4:1 (которые также отличаются от балуна Guanella). А un - un 4:1 и различные гибриды, на фото (А) показаны две основные формы балуна 1:1, которые впервые появились в профессиональной литературе.

Двухпроводный Guanella 1: 1 balun находится слева, а трехпроводный Ruthroff balun – справа. Как упоминалось ранее, балун из Guanella недавно был назван «токовый» или «дрессельный» балун.



**Фото (А)** - Две основные формы 1:1 балуна, которые впервые появились в профессиональной литературе.

Гуанелла Балун с двумя проводами находится слева,  
Рутрофф Балун с тремя проводами - справа.

Прежде чем перейти к важным статьям в радиолюбительской литературе, следует упомянуть о различиях между двумя основными терминами, показанными на фото (А). Балун Guanella 1:1 стал известен как базовый строительный блок для всего этого класса широкополосных трансформаторов. Этот термин был введен Рутроффом, когда он продемонстрировал его способность к балансировке 1:1, когда нагрузка была заземлена в центре (клемма 5), и в качестве фазоинвертора, когда нагрузка была заземлена вверху (клемма 4). Подключив клемму 2 к клемме 3 и соединив нижнюю часть нагрузки с землей, Рутрофф затем продемонстрировал свое очень популярное соединение 4:1. Я назвал этот тип устройства соединением "багажник-ремень". Кроме того, благодаря заземляющей клемме 2 отсутствует падение потенциала вдоль линии передачи и, следовательно, отпадает необходимость в

магнитопроводах или кольцах. Такое расположение, которое, как оказалось, является важной функцией для расширения высокочастотных характеристик трансформаторов этого класса, я называю подключением "с фазовой задержкой".

Таким образом, благодаря гибкости, продемонстрированной базовым компоновочным блоком Guanella, теперь реализован балун 1:1, который не только обеспечивает сбалансированный источник питания для сбалансированной антенной системы, но также может предотвращать ток дисбаланса (и ток инвертированной антенны L), за счет своего реактивного сопротивления подавления, когда нагрузка не сбалансирована или не согласована, или когда линия питания не перпендикулярна оси антенны.

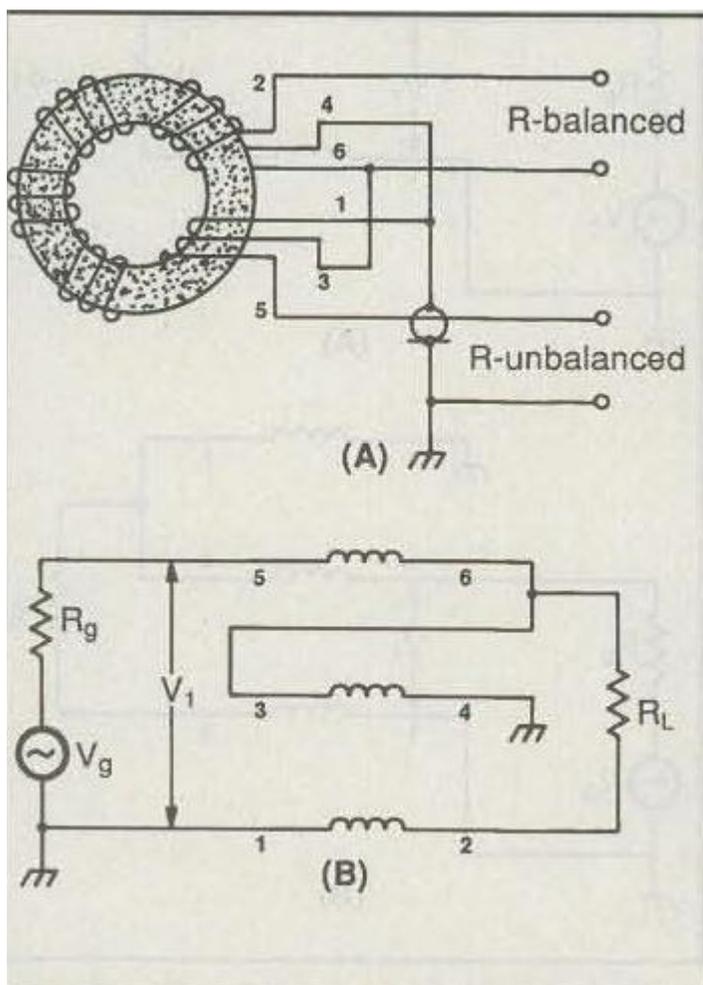
Достаточно интересно, что за исключением самого низкого уровня частотной характеристики Ruthroff балун 1:1, где может действовать автотрансформатор, его балун приобретает характеристики из балуна гуанеллы. Реактивное сопротивление третьей обмотки становится достаточно большим, чтобы сделать ее буквально прозрачной. Это не характерно для трехфазного балуна (**напряжения**), который чувствителен к несбалансированным и несогласованным нагрузкам по всей своей полосе пропускания, поскольку на самом деле это две тесно связанные линии передачи. Это первое предположение не было признано большинством тех, кто публиковался в радиолюбительской литературе.

## **В радиолюбительской литературе**

### **R. Turrin. W2IMU-1964.**

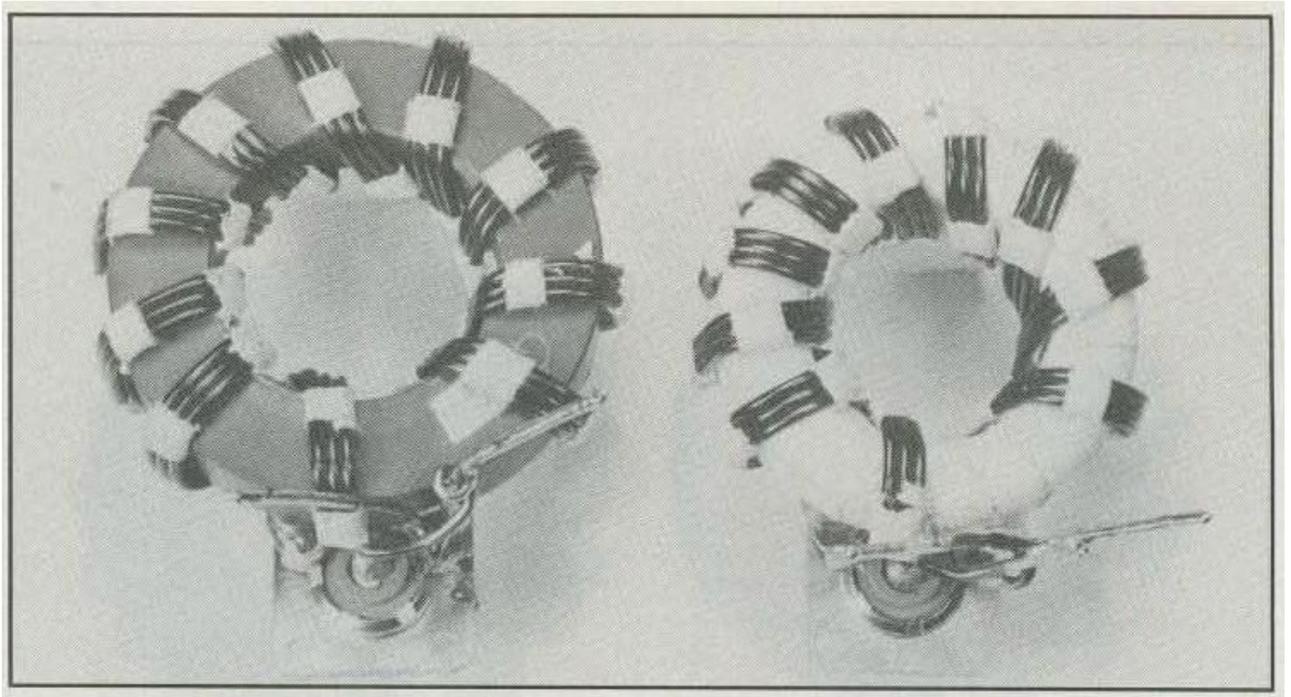
Первая презентация в радиолюбительской литературе о балунах 1:1 с использованием ферритовых сердечников была сделана Туррином в 1964 <sup>[10]</sup>. Туррину, который был соавтором в Bell Labs, за его конструкцию с малым сигналом (в которой использовался провод № 37 или 38 на тороидах с диаметром 0,25 дюйма или меньше) и адаптировали его для использования с высокой мощностью. Это было сделано с использованием более толстой проволоки. сердечники большего размера и (что очень важно для высокой эффективности <sup>[3]</sup>.) феррит с низкой проницаемостью. Рутрофф использовал марганцево-цинковые наконечники с потерями и проницаемостью около 3000, поскольку эффективность не была главным фактором.

На рис. 3 показаны изображение и схема конструкции Туррина. Как вы можете видеть, третий провод (обмотки 3-4) расположен между двумя токоведущими проводами (обмотки 1-2 и 4-5). На фото (В) показан (слева) его реальный дизайн с использованием ферритового сердечника и популярный дизайн (справа) с использованием сердечника из порошкового железа, который был легко доступен в виде набора. В обоих балунах используется 10 тройных проволок с одинарным покрытием, таких как Fogex или Formvar, на тороиде. Конструкция Тьюринга использует ферритовый тороид с наружным диаметром 2,4 дюйма и проницаемостью 40μ, в kit balun используется тороид из порошкового железа с наружным диаметром 2 дюйма и проницаемостью всего 10μ. Оба балуна рассчитаны на мощность 1000 Вт в диапазоне от 1,8 МГц до 30 МГц.

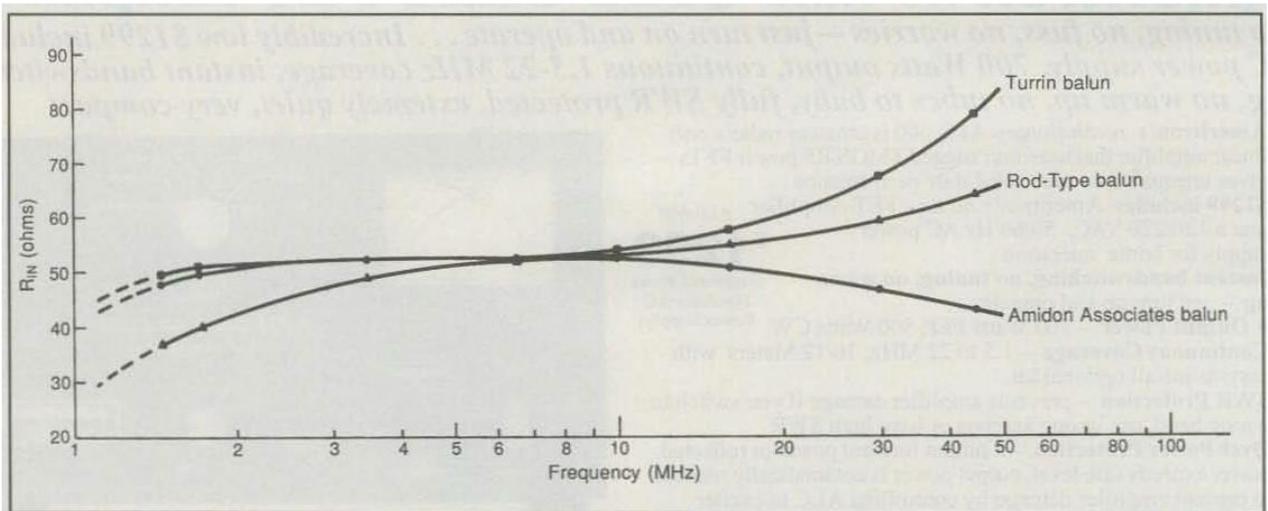


**На рис. 3**

(А) Изображен балун Туррина в соотношении 1:1,  
 (Б) схема его балуна.



**Фото (В)** - Два варианта дизайна Turrin's:  
 слева - балун 1:1, который появился в литературе по радиолюбительству;  
 справа - балун 1:1, который был доступен в виде набора от компании  
 Amidon Associates, Inc.



**Рис. 4** - Зависимость входного сопротивления от частоты, когда оно заканчивается на 50 Ом, для балунов Turrin, стержневого типа и Amidon 1:1

На рис. 4 показаны кривые отклика для этих двух балунов при подключении к нагрузкам 50 Ом. Также показана кривая отклика для популярного балуна стержневого типа 1:1, в котором используется та же схема "стержневого типа" и проволока, но на ферритовом стержне, он имеет 8 витков три филярной обмотки, плотно намотанных на стержень диаметром 0,5 дюйма, длиной 2,5 дюйма и с проницаемостью 125μ. Балун стержневого типа показан на фото (С).

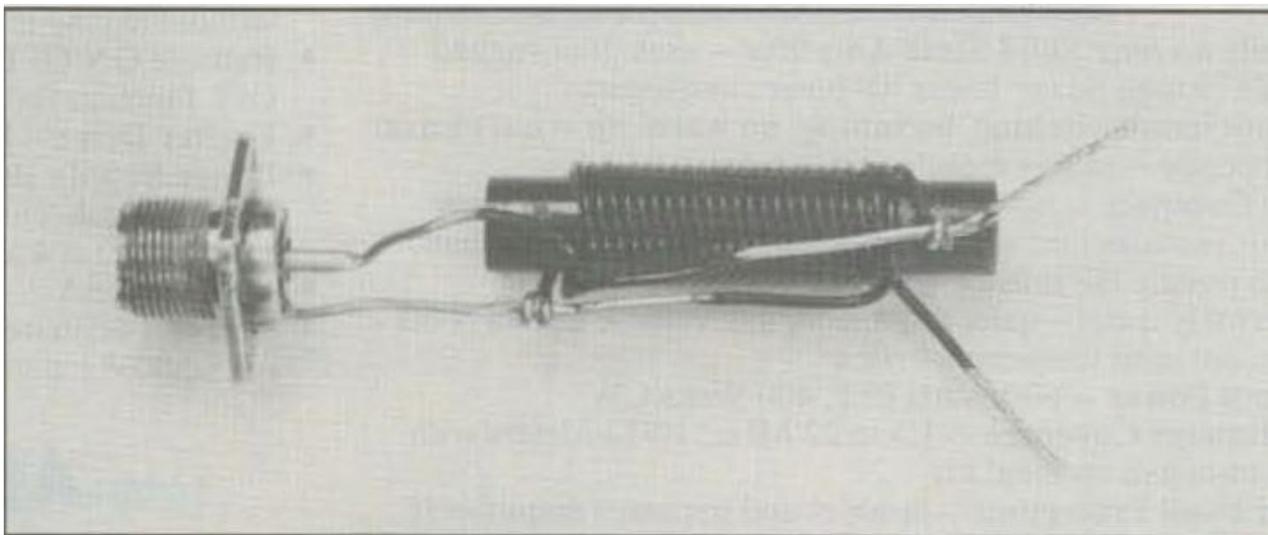


Фото (С) - Типичный балун стержневого типа.

Следует отметить несколько важных особенностей результатов, показанных на рис. 4.

Вот они:

1. Все балуны имели недостаточное реактивное сопротивление дросселирования и, следовательно, плохие реакции с низкой частотой. Версия с порошковым железом была особенно плохой. Все они показали падение входного сопротивления и индуктивной составляющей на частоте 2МГц. Это означало поток в сердечниках и нежелательный шум, особенно для феррита, который является более прочным материалом. Ферритовые сердечники могут не только пострадать от повреждений, но и генерировать паразитные частоты в таких условиях. На самом деле, следовательно, такое же условие могло бы возникнуть на частоте 4 МГц с КСВ 2:1! Я не рекомендую ни один из этих балунов для использования на 160 или 80 метров.

2. Основной проблемой на низкочастотном конце является роль третьей обмотки (3-4) на рис.3(В). Утверждалось, что третья обмотка улучшает низкочастотную характеристику (по сравнению с двухпроводной Guanella 1:1 balun). потому что это обеспечивает работу автотрансформатора на низком уровне, но недавние измерения, проведенные автором на двухпроводных баллонах Guanella и трехпроводных баллонах Ruthroff (или Turrin) с нагрузками, заземленными в их центрах, показали незначительные различия. Этот тип нагрузки приблизительно соответствует фактическому состоянию при питании сбалансированной антенной системы. Отрицательной особенностью третьей обмотки (3-4) является то, что на низкочастотном конце может быть недостаточное реактивное сопротивление для предотвращения вредного потока в сердечнике из-за прямого шунтирующего пути на землю. При двухпроводном балансе 1:1 единственным потоком, вызывающим ток, является ток дисбаланса (режим инвертированного L), который обычно намного меньше.

3. Другой важной особенностью кривых, показанных на рис.4, является влияние характерных сопротивлений спиральных линий передачи. Например, бифилярная намотка (провода соединяются вместе) на тороид с промежутком между соседними бифилярными витками демонстрирует характеристическое сопротивление около 45 Ом, при намотке на стержень без промежутка между соседними бифилярными витками характеристическое сопротивление падает примерно до 25 Ом. При подключении третьей обмотки (3 - 4) между двумя другими, как показано на рис. 3(В), характеристическое сопротивление повышается примерно до 70 Ом в тороидальном корпусе и примерно до 47 Ом в стержневом корпусе. Если бы тороидальные стержни были замкнуты на 70 Ом, а стержневой стержень - на 47 Ом, высокочастотные характеристики были бы практически равны, по крайней мере, 30 МГц. Разница в высокочастотной характеристике между двумя тороидальными балунами (с нагрузкой 50 Ом) обусловлена различиями в длине их линий передачи. Линия передачи на сердечнике из порошкового железа заметно меньше, поскольку наружный диаметр, а также площадь поперечного сечения меньше.

4. Форма балуна с тройной намоткой 1:1 также обладает дополнительным нежелательным свойством, его высокочастотная характеристика чувствительна к несбалансированным аномальным нагрузкам. Это связано с тем, что третий провод теперь образует две линии передачи, которые теперь плотно соединены, в отличие от Ruthroff версии, показанного справа на фото (А). В своей второй статье Туррин указал на это важное различие. <sup>[11]</sup>.

**J. Reisert. W1JR-1978** <sup>[12]</sup>. Следующее значительное исследование, посвященное балунам 1:1, было опубликовано Райзертом в 1978 году. Он предложил намотать несколько небольших (но все еще мощных) коаксиальных кабелей вокруг ферритового тороида диаметром 2,4 дюйма с проницаемостью 125μ.

Обмотки также включали перекрестие, который показан на рис.5 и фото (D). Кроме того, он рекомендовал различное количество витков в зависимости от требований к низкой частоте.

Например:

12 витков для покрытия 3,5 МГц,

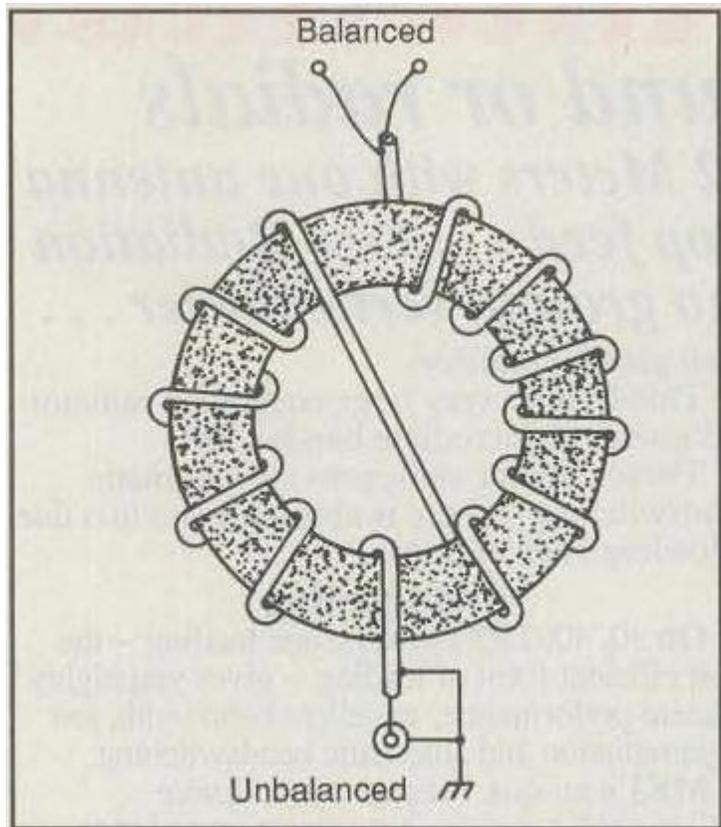
10 витков для 7 МГц,

6 витков для 14 МГц, и

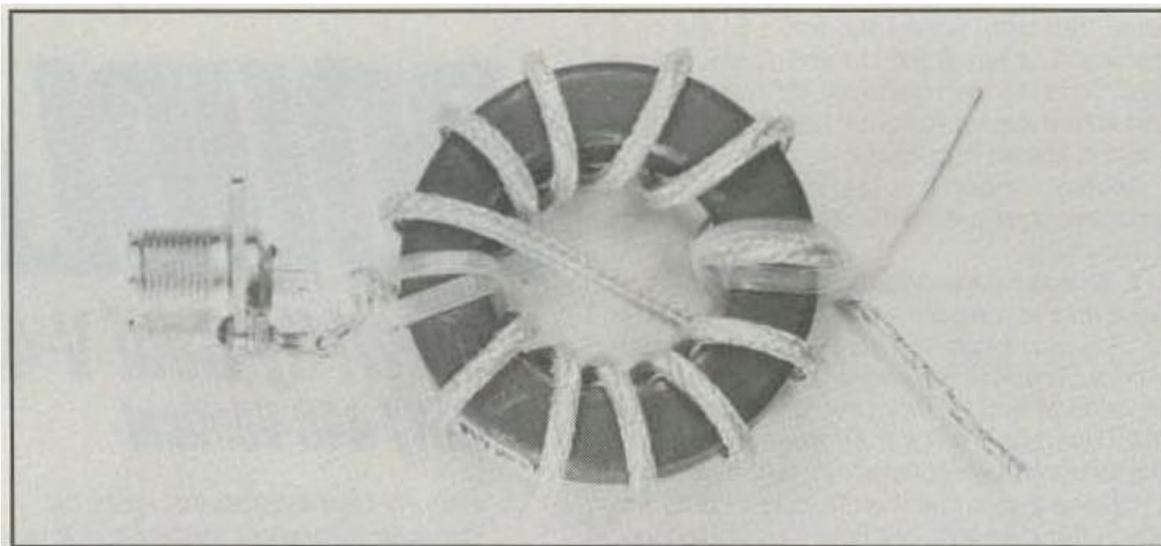
4 витка для 21 и 28 МГц.

Поскольку характеристическое сопротивление коаксиального кабеля такое же, как и у коаксиальной линии питания, балун добавляет к линии подачи всего один-два фута дополнительной длины.

Это справедливо для ВЧ и УКВ диапазонов. Рекомендованными в статье коаксиальными кабелями были RG-141/U, RG142/U и RG303/U.



**Рис. 5.** Изображение перекрестия, используемого в балуне Reiser 1:1.



**Фото (D)** - Рейзерт W1JR. Балун 1:1.

Из статей, появившихся в радиолобительской литературе, стало очевидно, что немногие распознали все важные особенности его балуна, которые заключались в:

1. Был использован эффективный тройник с малыми потерями.
2. Балуны обладали достаточной реактивностью подавления для удовлетворения различных требований к низким частотам.
3. Характеристическое сопротивление спиральной линии передачи было таким же, как и у питающей линии, что исключало дополнительное трансформаторное воздействие на длину линии передачи с различным характеристическим сопротивлением.
4. Балун представляет собой разновидность балуна Guanella с двумя проводниками 1:1, который не подвержен потоку в сердечнике и, следовательно, насыщению и генерации паразитных частот. Он также невосприимчив к несогласованным и несбалансированным нагрузкам, таким как балансиры Turgin и «напряжения». Сконструировав несколько своих балунов и сравнив их с другими конструкциями Guanella, я обнаружил, что перекрестная обмотка практически не оказывает эффекта до 100 МГц (предел моего оборудования), мой второй комментарий касается его сравнения КСВ с балуном стержневого типа при питании трех диапазонного Yagi луч на 20 метров. У его балуна была более низкая КСВ (практически 1:1) в точке наилучшего совпадения. У балуна стержневого типа была лучшая КСВ примерно 1,3:1, но на немного более высокой частоте. Он объяснил более высокую (и несколько более плоскую) кривую КСВ стержневого балуна его большими омическими потерями, поскольку в стержневых балунах, которые я исследовал, использовался тот же феррит с низкими потерями, что и у Рейзерта, я подозреваю, что различия в кривых КСВ были в основном вызваны несоответствием потерь с помощью стержневого балуна.

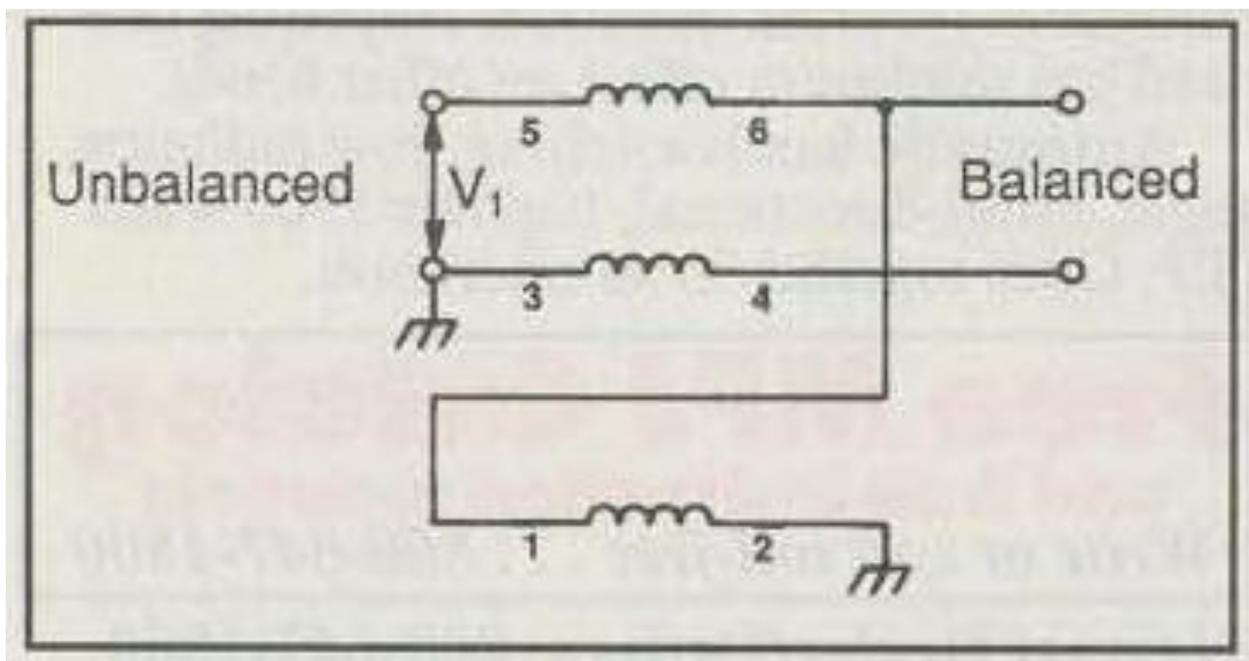
**G. Badger. W6TE-1980.** В 1980 году Badger (Барсук) опубликовал подробную серию из двух частей, опубликованная в 1980 году в журнале Ham Radio magazine о балунах с воздушным сердечником и унунах <sup>[13]</sup><sup>[14]</sup>. Я уверен, что это сыграло важную роль в продвижении технологии этого класса широкополосных трансформаторов. Недавняя статья Билла Опра, W6SAI, также показывает, что есть много других радиолюбителей, которые видят преимущества трансформаторов с воздушным сердечником <sup>[15]</sup>. Каковы требования к воздушным или балунам по сравнению с их аналогами с ферритовым сердечником? Первое и главное утверждение заключается в том, что они не страдают от последствий насыщения, которое приводит к паразитным частотам, нагреву и конечному повреждению, во-вторых, они не подвержены образованию дуги от обмоток к сердечнику, и каковы требования к балунам с ферритовым сердечником по сравнению с их аналогами с воздушным сердечником? Проще говоря. они имеют более широкую полосу пропускания и более компактны.

Что особенно привлекло мое внимание после прочтения серии из двух частей Бэджера, так это его экспериментальные данные о гармонических искажениях из-за насыщения в балуне с ферритовым сердечником 1:1. Хотя многие выражали опасения по поводу насыщения в балунах с ферритовым сердечником. Данные Бэджера вполне могли быть единственными доступными результатами. Он использовал метод двухцветного тестирования. который объединил два радиочастотных источника частотой 2,001 и 2,003 МГц, усилил его до PEP мощностью 2 кВт, а затем пропустил через коммерческий ферритовый балун стержневого типа 1:1. Данные показали значительное искажение в продуктах искажения 3-го и 9-го порядка, другими словами, на этом высоком уровне мощности имела место заметная нелинейность.

В связи с этими измерениями возникает несколько вопросов: какова была низкочастотная характеристика коммерческого стержневого балуна 1:1, который он использовал? Из моих измерений на стержневом балуне (рис. 4) я обнаружил падение входного сопротивления и индуктивной составляющей на частоте 2 МГц. Это указывает на поток в сердечнике и проблему при использовании этого балуна на частоте 2 МГц. Поскольку на протяжении многих лет использовалось много стержневых балунов 1:1, было бы поучительно, если бы он также провел эти измерения на частотах 4 и 7 МГц. Они дали бы читателям безопасный нижний предел частоты для этих балунов.

Кроме того, почему Badger не сделал аналогичных измерений на балуне Райзера 1:1, который он включил в свои статьи? Как отмечалось ранее, я считаю, что балун Райзера 1:1 очень удачный дизайн! Я уверен, что с его помощью на частоте 2 МГц не было бы обнаружено никаких искажений. Конечным результатом является то, что Badger выбрал для своих сравнений очень плохую конструкцию ферритового сердечника, что способствовало незаслуженной репутации balun с ферритовым сердечником.

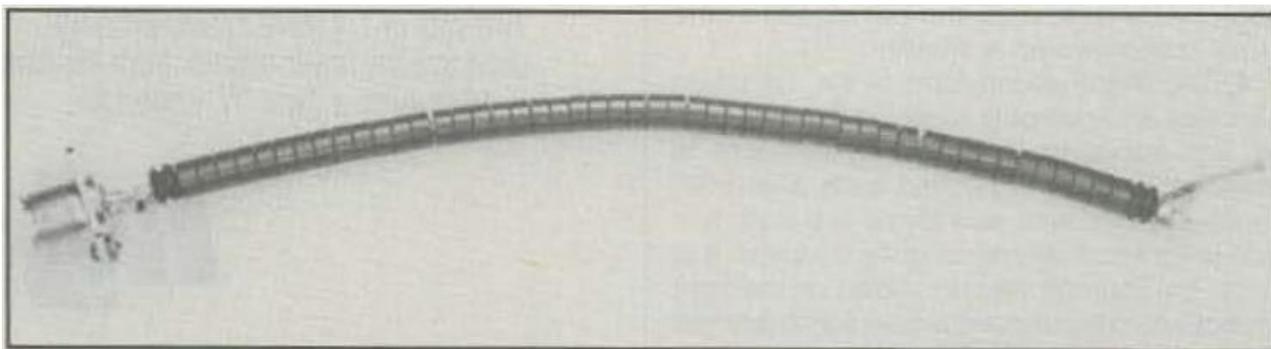
Badger также предложил разместить изолированный провод параллельно коаксиальной обмотке на балуне Райзера 1:1. Он назвал это компенсирующей обмоткой, который обеспечивал превосходный сбалансированный выходной сигнал. Схема показана на рис.6. Более поздние эксперименты автора и других показали, что хорошо спроектированный двухпроводный (Guanella) балун 1:1 имеет полностью удовлетворительный сбалансированный выходной сигнал для применения в антеннах. Кроме того, он не страдает от несбалансированной или несоответствующей нагрузки и насыщенности сердечника. Кстати, схема Badger на рис.5 (походу опечатка наверно рис.6) теперь включает в себя четыре различных варианта балансировки 1:1. Это двухпроводная версия Guanella и трехпроводные версии Ruthroff, Turrin и (теперь) Badger.



**Рис. 6** - Схема балуна Badger 1:1 с компенсирующей обмоткой (1-2), обмотка (3-4) является внешней оплеткой коаксиального кабеля, а обмотка (5-6) является внутренним проводником.

Барсук и Orr также упоминали баллон Collins в своих статьях, он состоит из фиктивного отрезка коаксиального кабеля, который наматывается как продолжение оригинальной спиральной обмотки. Интересно, что он подключен как баллон Ruthroff 1:1 (рис. 2B), в котором также используется третья обмотка. Поскольку между двумя витыми обмотками имеется заметная связь, балансир Collins также должен быть чувствителен к несовпадающим или несбалансированным нагрузкам. Барсук утверждал, что это, безусловно, лучший балансир 1:1, который он когда-либо использовал. Опять же, было бы очень информативно, если бы он сравнил это с Рейзертом балун (без компенсирующего третьего провода).

**M.W. Maxwell. W2DU-1983.** Одна из наиболее значимых статей о балунах 1:1 была опубликована Максвеллом в 1983 году <sup>[16]</sup>. Он представил то, что он назвал "дрессельным" балуном. Он был сформирован путем размещения высокопроницаемых ферритовых колец примерно на один фут небольших (но мощных) коаксиальных кабелей, подобных тем, которые используются в балуне Reiser. На фото (E) показан "дрессельный" балун W2DU, извлеченный из корпуса.



**Фото (E)** - Maxwell, W2DU, дрессельный балун 1:1.

Максвелл дополнил свой балун (как он выразился) балуном "трансформаторного типа", измерив зависимость входного сопротивления от частоты, когда выходы были замкнуты на 50 Ом, поскольку балун "трансформаторного типа" не давал истинного коэффициента передачи импеданса 1:1, он утверждал, что это произошло из-за потерь, реактивного сопротивления утечки и неоптимального соединения. Поскольку он не дал описания балуна "трансформаторного типа", я предположил, что это был популярный балун стержневого типа, показанный на фото (C), как вы можете видеть на рис.4, этот балун имеет плохую низкочастотную характеристику. Кроме того, он действительно оптимизирован для нагрузки в 47 Ом, а не в 50 Ом.

Но чего Максвелл не смог понять, так это того, что его воздушный шар был формой двухпроводного балуна Гуанеуа, то есть он одновременно является дросселем (сосредоточенным элементом) и линией передачи (распределительным элементом). Кроме того, теория Гуанеллы применима независимо от того, являются ли линии передачи спиральными (вокруг сердечника), бисерными, двухпроводными или коаксиальными кабелями. Из классической статьи Резерфорда <sup>[9]</sup>, которая расширила работу Гуанеллы <sup>[8]</sup>, нам стало известно, что напряжение падает по всей длине линий электропередачи. И из очень точных измерений вносимых потерь <sup>[3]</sup>, мы узнали, что потери были в основном в магнитной среде и что они были связаны с уровнями напряжения и погрешностями. Максвелл не принял во внимание эти последние выводы. Он использовал шарики с высокой проницаемостью с потерями (2500  $\mu$ ) и предположил, что основные потери были в линии передачи, он утверждал, что мощность его балуна составляет 3,5 кВт на частоте 50 МГц и 9 кВт на частоте 10 МГц - столько же, сколько у самого коаксиального кабеля. Я серьезно сомневаюсь в этих показателях мощности. По иронии судьбы, очень вероятно, что балун Максвелла имел больше реальных потерь, чем так называемый балун "трансформаторного типа"!

**R. W. Lewallen. W7EL-1985.** Существует очень мало сомнений в том, что интересная статья Леваллена и статья <sup>[17]</sup> в 1985 году внесли значительный вклад в лучшее понимание и разработку балунов 1:1 и 4:1. В ней он ввел в обиход (сейчас очень популярные) термины "балуны напряжения" и "тока". Балун "напряжения", представляющий собой трехпроводный balun, имеет выходные порты, на которых напряжение сбалансировано относительно земли. это достигается (см. рис. 5) действием делителя напряжения обмоток (5-6) и (1-2). Поскольку у нас есть две тесно связанные линии передачи в полосе пропускания с одинаковыми скатами потенциала, клемма 6 находится на уровне  $+V_1/2$ , а клемма 4 - на уровне  $-V_1/2$ , где  $V_1$  - входное напряжение. "Текущий" балун, с другой стороны, представляет собой двухпроводный балун, который вызывает равные и противоположные токи на выходных портах при любой форме сопротивления нагрузки.

Леваллен, провел серию экспериментов на 10 метрах, чтобы сравнить характеристики датчиков "напряжения" и "тока" в сбалансированных и несбалансированных условиях. В несимметричном состоянии диполь был удлинен на пять дюймов с одной стороны и укорочен на пять дюймов с другой. Затем он получил коэффициент полезного действия для обоих балунов (а также для случая без балуна), определяемый как отношение средней величины токов в точке подачи к величине тока дисбаланса (инвертированного L). Величины токов были получены с помощью тороидов с токовым зондом, измерения проводились в точке питания антенны и на расстоянии полуволны (физически) от нее.

"Токовый" балун состоял из 15 витков очень маленького коаксиального кабеля RG178 U на сердечнике FT82-61 (ферритовый тороид с наружным диаметром 0,825 дюйма и проницаемостью 125). Балун "напряжение" имел 10 витков коаксиального кабеля RG178U с проводом № 26, расположенным параллельно (тесно соединенным) на том же тороиде, схема показана на рис. 5. (походу опечатка наверно рис.6)

Леваллен пришел к выводу (и я согласен), что его эксперименты ясно показали, что балун "тока" давал превосходную производительность в каждой измеренной точке в каждом эксперименте, однако балун "напряжения" все равно улучшал баланс по сравнению со случаем без балуна. Он также пришел к выводу, что следует провести другие эксперименты, чтобы в Твиттере сравнить две формы балун, одно из отличий заключается в том, что питающие линии расположены несимметрично относительно антенны (чтобы вызвать дисбаланс тока в питающей линии). Другие ищут оптимальную точку в питающей линии для размещения балуна и различных видов стержневых и кольцевых балунов. Хотя в статье Леваллена в значительной степени говорится о предложении Барсука добавить третий провод к балуну Райзера для лучшего баланса (избегайте этого), у меня есть несколько комментариев и вопросов относительно его экспериментов и выводов

Вот они:

1. Почему он не использовал балун Райзера в качестве балуна "тока", а предложенную Бэджером конструкцию третьего провода в качестве балуна "напряжения"? Это были бы более реалистичные конструкции для сравнения, вместо этого он использовал очень маленькие конструкции, которые найдут очень мало применения и, как таковые, обладают более высокими частотными возможностями. Кроме того, поскольку балун "напряжения" имел всего 10 витков (и, следовательно, более короткую линию передачи и худшую низкочастотную характеристику), ему отдали предпочтение при сравнении на 10 метрах. Если бы он использовал линии электропередачи равной длины, различия между двумя балунами были бы еще более печальными.
2. также было бы очень полезно, если бы Леваллен провел сравнение между "токовым" балуном, который мог бы выдерживать полный допустимый предел мощности любительского радио (опять же, как и остальные балуны), и "вольтажными" балунами, такими как балун стержневого типа и тороидальный балун Turgin, которые были легко доступны почти в течение трех десятилетий.

3. Кроме того, сравнение не должно ограничиваться только 10 метрами. Поскольку балансиры "напряжения" 1:1 представляют собой конфигурации связанных линий передачи с различными характеристическими сопротивлениями, их характеристики при несовпадающих и несбалансированных нагрузках более чувствительны к более высоким частотам, чем их аналоги с балансирами "тока". Следовательно, проведение аналогичных измерений на 20 метрах также дало бы более полезную информацию.
4. Несмотря на то, что классическая работа Рутроффа 1959 года выпуска <sup>[9]</sup> на протяжении многих лет была отраслевым стандартом, его дизайн балуна 1:1 практически не использовался в любительской литературе. Туррин упомянул о его преимуществах перед своим первым дизайном в своей второй статье.<sup>[11]</sup> Однако в нашей любительской литературе преобладает первый дизайн Туррина, поскольку дизайн Рутроффа имеет третий проводник на отдельной части тороида, он обладает сбалансированным выходом, упомянутым Badger <sup>[13]</sup>, но все еще сохраняет гибкость балуна Guanella <sup>[8]</sup>. Другими словами, при увеличении частоты дросселирующее действие третьего провода делает его практически прозрачным. Это позволяет ему справляться с любой формой сопротивления нагрузки. Было бы информативно, если бы Леваллен указал на это, а также отметил, что балун Рутроффа 1:1, хотя и выглядит как балун "напряжения", на самом деле является балуном "тока".
5. Леваллен и другие, опубликовавшие статьи в литературе по радиолюбительству, не упомянули о первой презентации того, что сейчас известно как "токовые" или "дроссельные" балуны. Это было сделано Гуанеллой в 1944 году. <sup>[8]</sup> Несмотря на то, что Гуанелла использовал спиральные линии передачи без магнитного сердечника, его теория о том, как работают эти устройства, все еще применима сегодня.

**J. S. Belrose.VE2CV-1991.** Последняя статья о балунах 1: 1, которую, как мне показалось, стоит упомянуть, была написана Белроузом в 1991 году. <sup>[19]</sup> В ней он описал балун W2DU от Maxwell и то, как его метод продевания коаксиального кабеля через ферритовые кольца можно легко применить к балунам 4:1 и 9:1.

Что сразу привлекло мое внимание в этой статье, так это комментарии редактора, в которых содержались весьма комплиментарные замечания по поводу балуна из ферритовых колец. По сути, в нем говорилось. "В этой прорывной статье несравненная конструкция распределителя тока W2DU с соотношением сторон 1:1 служит основой для превосходного распределителя тока с дроссельной заслонкой из ферритовых колец, способного преобразовывать импеданс 4:1 и 9:1".

Однако, если внимательно прочитать статью, становится очевидным, что Белроуз этого не говорил, его слова были такими: "Текущий балун типа, разработанного Уолтом Максвеллом, W2DU, балун, состоящий из ферритовых колец, надетых на отрезок коаксиального кабеля, является лучшим из разработанных на данный момент", - он не сказал что балун W2DU был "несравненным" по тактичности, в статье он сказал прямо противоположное. Он указал, что основным недостатком W2DU balun является то, что шарики имеют потери на высоких частотах и что нагрев становится проблемой, когда мощность передачи превышает 125 Вт! Для высокой мощности (1 кВт постоянного тока) компания Belrose рекомендовала конструкции Roehm <sup>[20]</sup>, в которых используются шарики с более низкой проницаемостью (850μ), расположенные ближе к сбалансированной мощности балуна (где происходит большая часть нагрева).

Однако я ставлю под сомнение два из заявленных им преимуществ W2DU balun.

Вот они:

1. Его превосходные характеристики по потерям мощности и импедансно-частотным характеристикам значительно превосходят характеристики бифилярного токового балуна, намотанного на ферритовый тороид.
2. Он обладает превосходными характеристиками по энергопотреблению и может вполне удовлетворительно функционировать при работе с высокореактивными нагрузками. Это происходит потому, что магнитный поток, создаваемый токами, протекающими по проводам этого балуна, не может насытить его ферритовые кольца.

Первое преимущество, перечисленное выше компанией Belrose, было получено путем сравнения входного сопротивления и потерь мощности в зависимости от частоты W2DU balun с коммерческим balun, когда они были подключены на 50 Ом, коммерческий balun представляет собой тороидальный тип с бифилярной обмоткой, используемый в differential-T тюнере. Чего Белроуз не смог понять, так это того, что коммерческий balun имел сильно изолированные провода, что приводило к характеристическому сопротивлению, превышающему 100 Ом. на самом деле он сравнивал линию передачи 50 Ом с более длинной линией, которая имела характеристическое сопротивление в диапазоне 100 Ом! Как и ожидалось, его кривая зависимости входного сопротивления от частоты для коммерческого балуна была еще более строгой, чем у балуна Turpin, показанного на рис. 4

Второе преимущество, перечисленное выше, основано на предположении, что магнитный поток, создаваемый токами в проводах симметрирующего устройства W20U, не может насыщать ферритовые шарики, в то время как обмотки тороидального токового симметрирующего устройства с бифилярной обмоткой могут насыщать сердечник. Это неверно, поскольку магнитный поток двухпроводникового балуна, такого как коаксиальный или тороидальный балун с бифилярной обмоткой, генерируется небалансным (инвертированным L) током и, следовательно, намного меньше, чем токи в линии передачи. Это особенно справедливо при достаточном реактивном сопротивлении дросселирования. Такое впечатление вполне могло возникнуть из-за того, что балун тороидального типа по-прежнему передает энергию в выходную цепь посредством потокосцеплений.

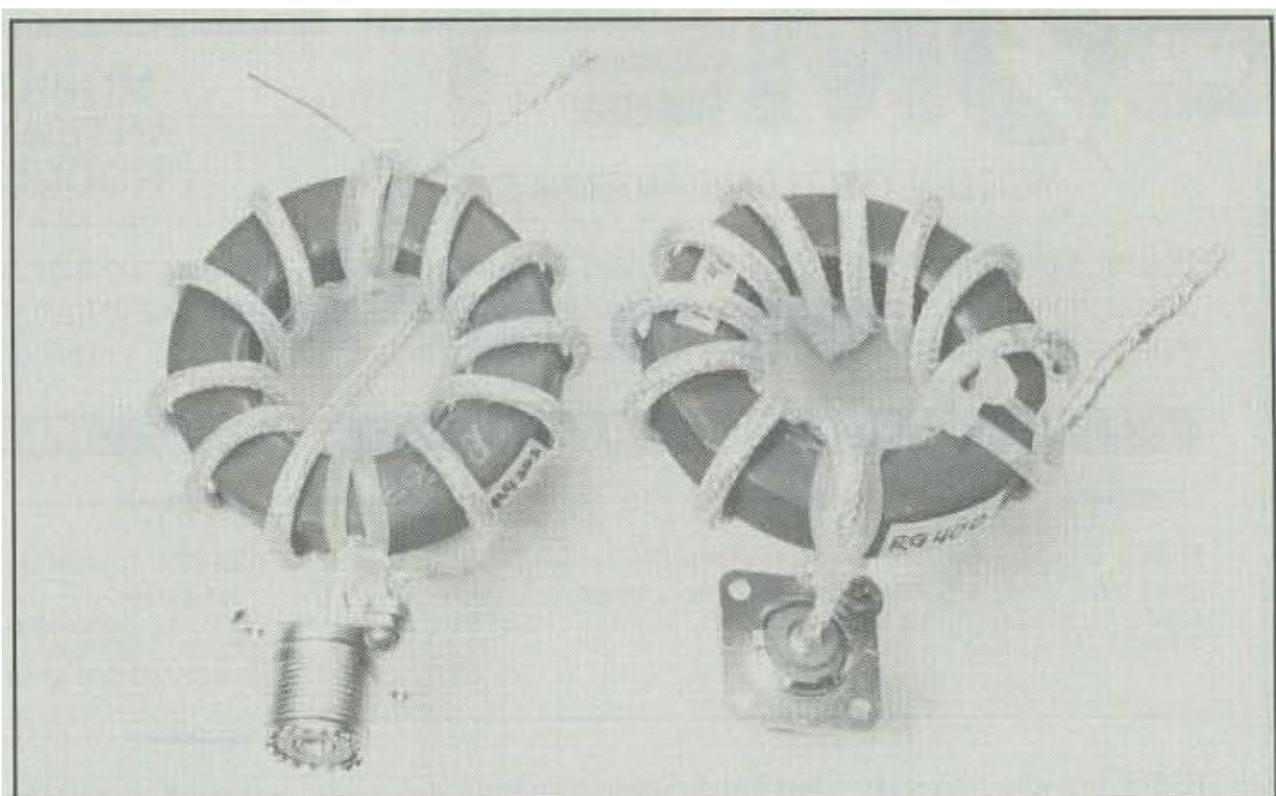
Для создания мощного коаксиального балуна Белроуз обратился к разработкам Рёма. 20, которые увеличили мощность симметрирующего устройства этого типа за счет использования шариков с более низкой проницаемостью рядом с балансным выходом. Он также значительно увеличил длину. Для работы на расстоянии от 80 до 10 метров он использовал 28-дюймовый коаксиальный кабель с бусинками. Для диапазона от 160 до 10 метров он использовал 36-дюймовый коаксиальный кабель с бусинками. По предложению Белроуза подключать коаксиальные кабели с бусинами параллельно на стороне с низким импедансом и последовательно на стороне с высоким импедансом для получения широкополосного коэффициента преобразования 4:1 потребуются линии передачи с характеристическими импедансами двух форм. Это означает, что для мощного балуна 4:1 с использованием бисерных линий передачи потребуется около 56 дюймов линии потребуется для работы на расстоянии от 80 до 10 метров, и 72 дюйма для покрытия на расстоянии от 160 до 10 метров. Для балуна 9:1 эту длину пришлось бы увеличить даже на 50 процентов!

Остается вопрос, что бы сказал или сделал Белроуз, если бы он сравнил балун W20U Максвелла с балуном W1JR Райзера. Он, конечно, не мог претендовать на перечисленные в этой статье преимущества балуна W20U. Сказал бы он по-прежнему, что тип балуна, разработанный Максвеллом, является лучшим из изобретенных на сегодняшний день? Я сомневаюсь в этом.

**J. Sevick. W2FMI - 1994** В соответствии с предыдущим форматом, я подумал, что на данном этапе лучше всего представить мои последние проекты балунов 1:1.

((Комплекты и готовые изделия можно приобрести в Amidon Associates, inc., 2216, Восточная Джадвок-стрит, Домингес-Хиллз, Калифорния 90220.) За исключением одного воздушного шара, который появился в июньском номере журнала СО за 1993 год, остальные представлены здесь впервые. Поскольку на протяжении всей этой статьи я отдавал предпочтение дизайну Райзера, первые балуны, описанные здесь, являются моими версиями этой техники намотки небольшого (но мощного) коаксиального кабеля вокруг ферритового тороида с низкой проницаемостью. Для своих проводных версий я мог бы использовать всевозможные прилагательные, чтобы описать их, такие как гуанелла, двухпроводник, дроссель и ток. Но в процессе написания этого раздела я подумал, что прилагательные Белроуза были наиболее прямолинейными. Используя его слова, я называю свои проволочные версии балунов 1:1 просто бифилярными тороидальными балунами.

На фото (F) показаны две версии балуна Reiser. В той, что слева, используется перекрещивание, показанный на рис. 5. Поскольку без перекрещивания не было замечено разницы в производительности на высоких частотах, справа также показан балун с непрерывной намоткой. **Основное преимущество высокочастотного диапазона с перекрестной обмоткой является чисто механическим.** Наличие входных и выходных соединений на противоположных сторонах тороида не только более удобно, но и обеспечивает гораздо более надежный способ монтажа.



**Фото (F)** - Две версии балуна Reiser 1:1. В балуне слева используется перекрещивание, показанный ранее на рис. 5. Балун справа намотан непрерывно, оба имеют одинаковые электрические характеристики в высокочастотном диапазоне.

Для работы в диапазоне от 1,8 МГц до 30 МГц 10 витков небольшого коаксиального кабеля, такого как RG-303/U, RG142B/U или RG-400/U, наматываются на ферритовый тороид диаметром 2,4 дюйма с проницаемостью 250 $\mu$ . Если пользователь ограничен диапазоном от 3,5 МГц до 30 МГц, то рекомендуется использовать коэффициент пропускания 125 $\mu$ , поскольку это даст несколько более высокую эффективность на высоком уровне. Если вы хотите добиться максимально возможной эффективности и ограничить частоту работы от 14 МГц до 30 МГц, то рекомендуется использовать проницаемость 40 $\mu$ . Было обнаружено, что при нагрузках, заземленных в их центрах, эти условия обеспечивают достаточный запас прочности (выдерживают VSRW 3:1 без какого-либо заметного потока) на их низкочастотных концах.

Для удобства намотки. Я нашел кабельные стяжки очень полезными. Было использовано по два на каждом конце, также помогает снятие покрытия с внешней оплетки, поскольку на тороид наматывается около 24 дюймов кабеля, рекомендуется начинать как минимум с 32 дюймов. Из трех кабелей, указанных выше, я обнаружил, что кабель RG-303/U легче всего наматывать и подключать. Несмотря на то, что у него оплетка меньшей толщины (у других оплетки

двойной толщины), его номинальная мощность осталась прежней - 9 кВт при частоте 10 МГц и 3,5 кВт при частоте 50 МГц.

Следующая конструкция с высокой мощностью показана на фото G, установленная в алюминиевом корпусе Bud CU 234 объемом 4L x 3W x 2,25H. Он имеет 10 бифилярных витков №12. Провод thermallaeze на ферритовом тороиде диаметром 2,4 дюйма. Как и в предыдущих версиях Reisen, рекомендуется использовать проницаемость 250μ для частот от 1,8 до 30 МГц, 125μ для частот от 3,5 до 30 МГц и 40 для частот от 14 до 30 МГц, один провод также покрыт в два слоя полиамидной ленты Scotch № 92 для повышения характеристического сопротивления до 50 Ом При такой дополнительной изоляции пробой напряжения в этой двухпроводной линии передачи очень выгодно отличается от кабеля RG-8/U (4000 вольт), чтобы соблюдать расстояние между ними, провода также скрепляются друг с другом примерно через каждые 1/2 дюйма кусочками стеклнной ленты Scotch № 27 шириной 3/16 дюйма и длиной чуть более 1 дюйма.

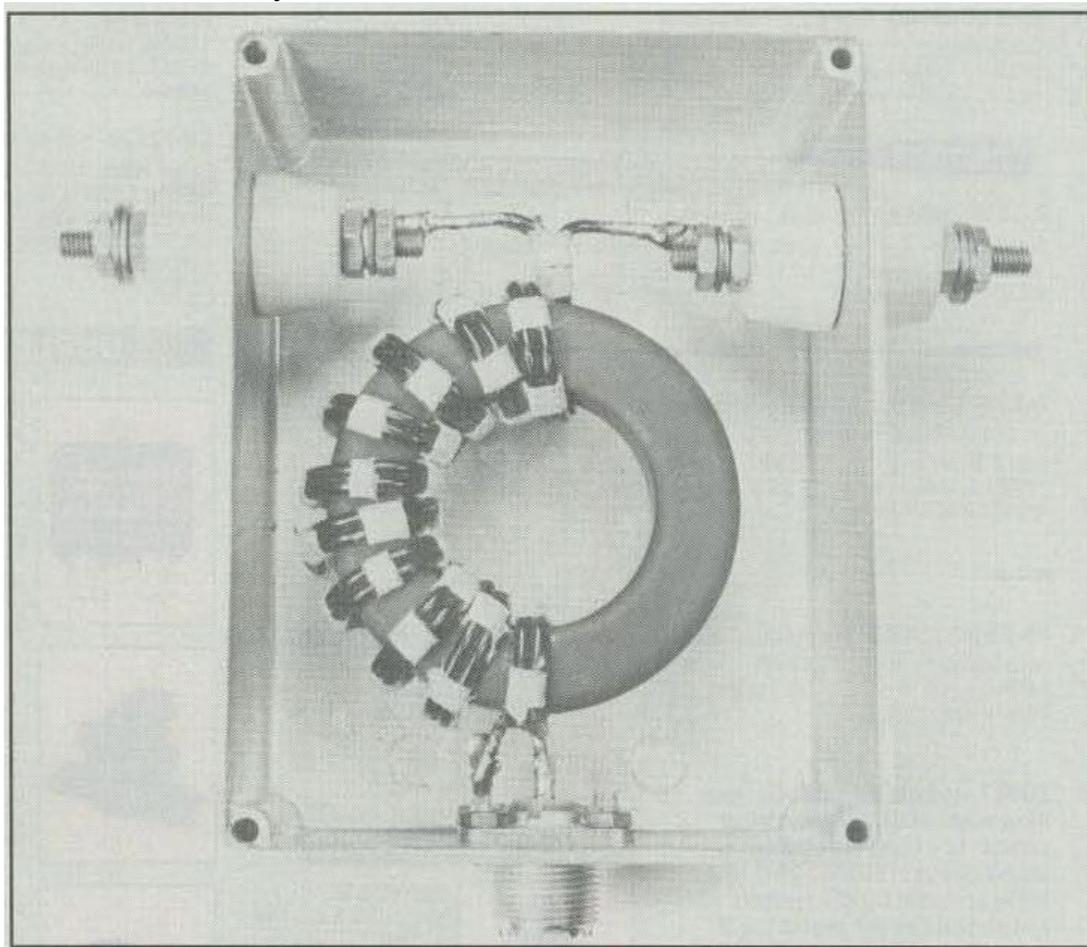


Фото G - Моя мощная конструкция бифилярного тороидального балуна (Гуанелла /токовый) 1:1, установленного в алюминиевой коробке размером 4'L x 3'W x 2,25'H

Две "экономичные" версии бифилярного тороидального балуна высокой мощности показаны на фото (Н). На одной слева показаны обмотки, расположенные на одной половине тороида, а на другой справа - одинаковые положения входных и выходных соединений с использованием перекрестия. Их характеристики идентичны. Оба балуна имеют 10 бифилярных витков №14 термозащитный провод на ферритовом тороиде диаметром 2,4 дюйма. Выбор проницаемости, который обеспечивает компромисс между пропускной способностью и эффективностью, такой же, как и в двух предыдущих мощных конструкциях. Как было упомянуто в начале, эти "экономичные" относятся к экономике труда.

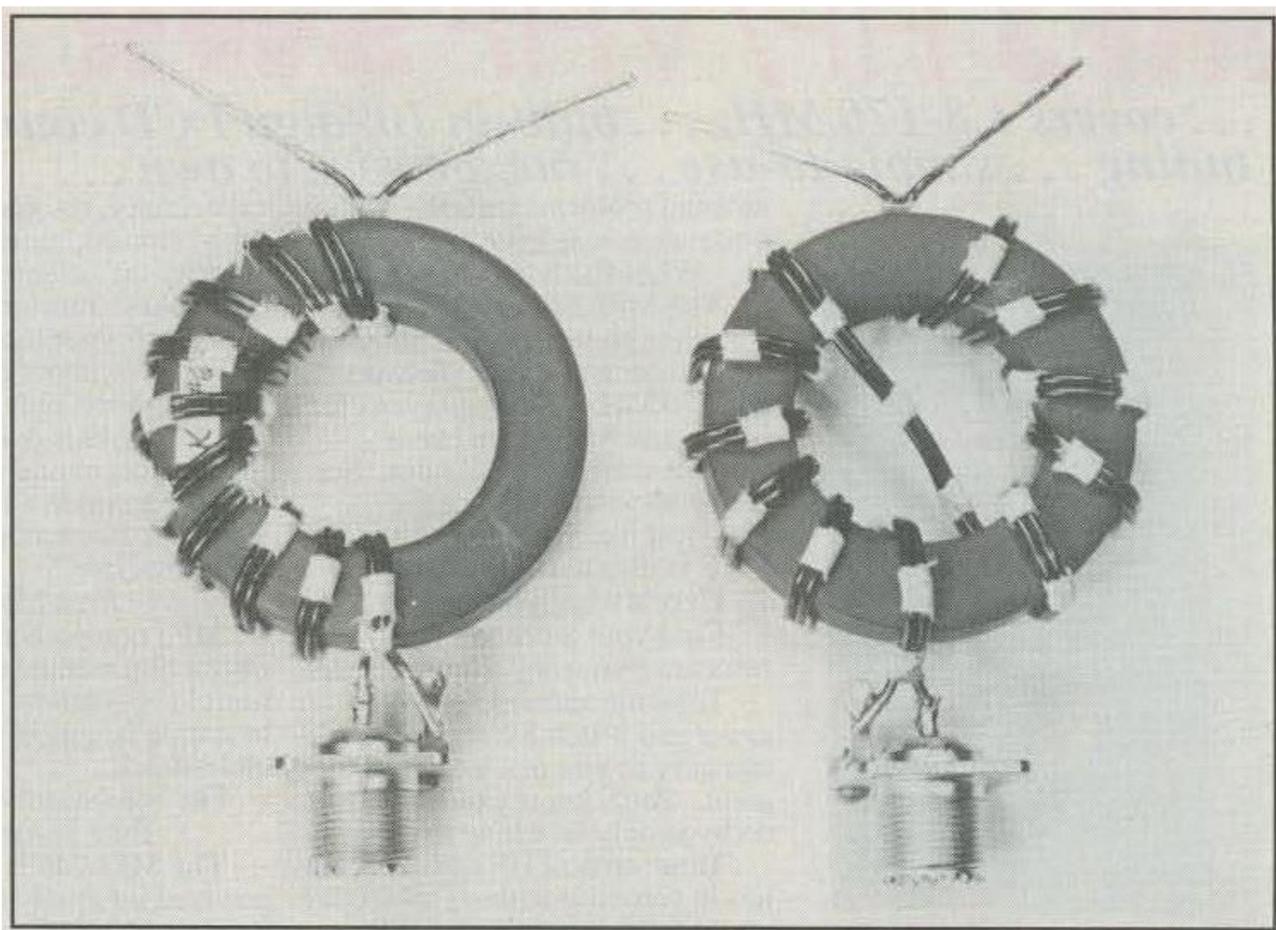
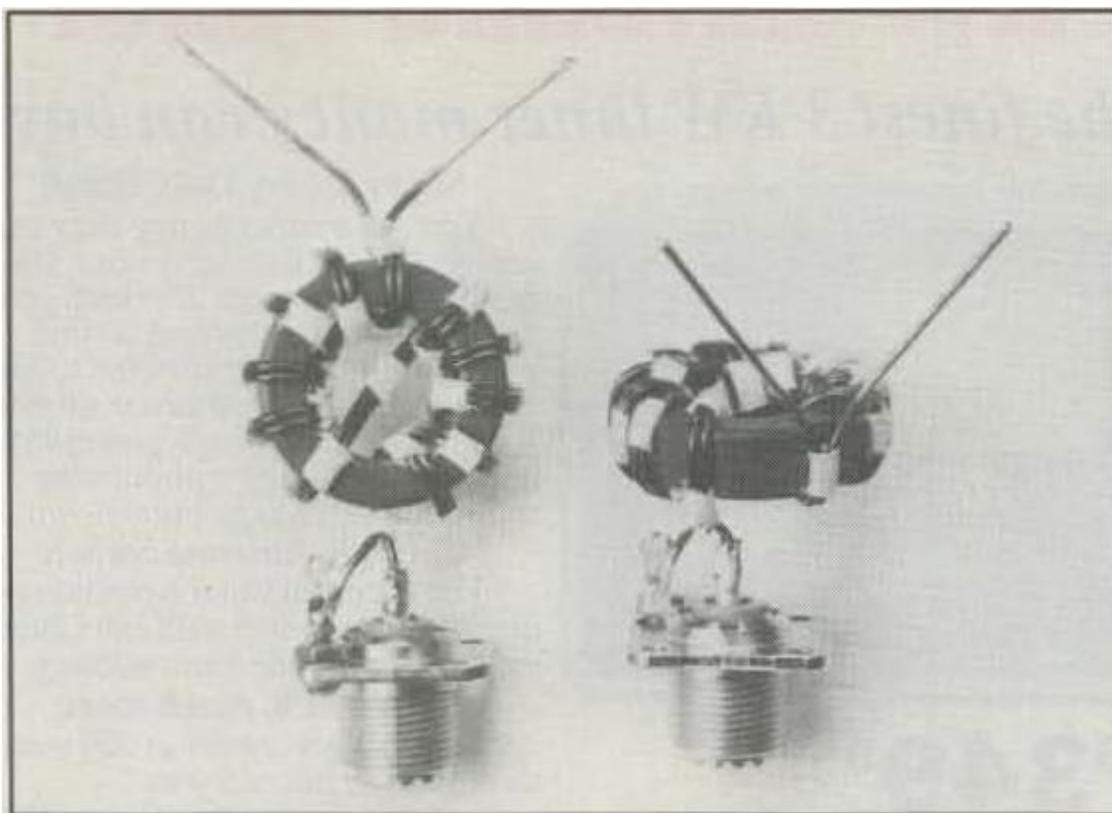


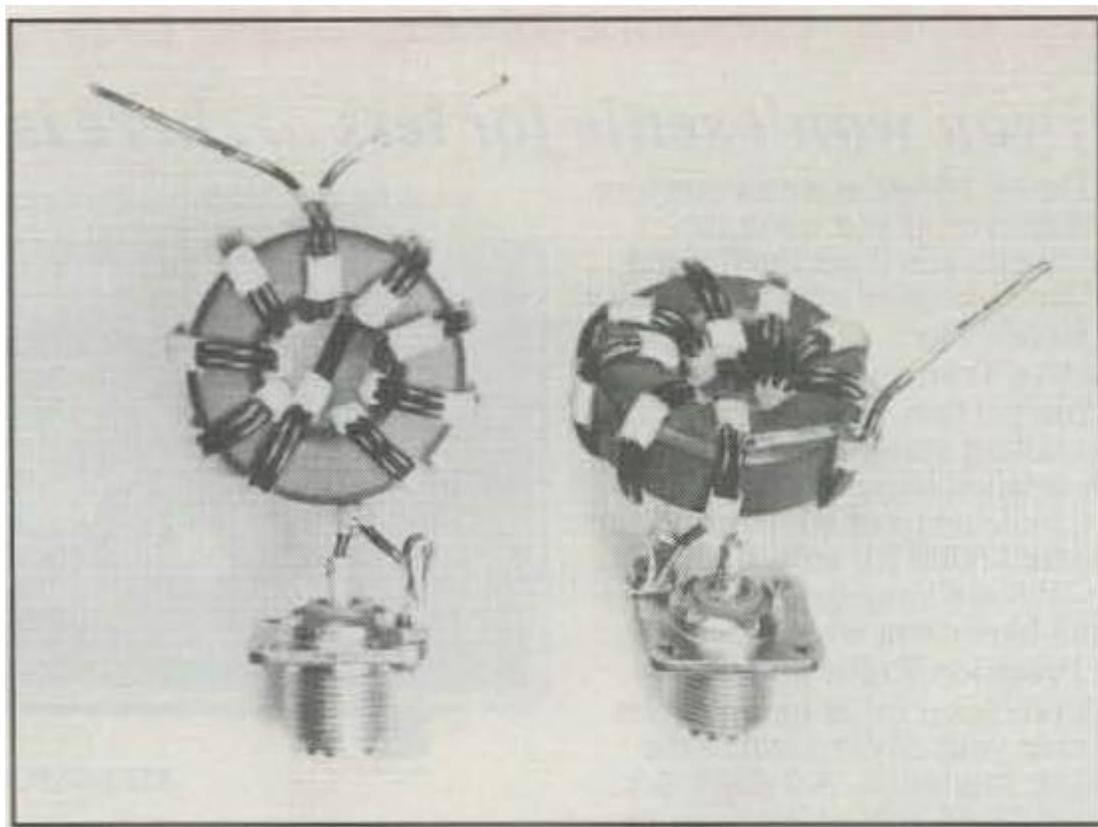
Фото Н - Две "экономичные" версии мощного бифилярного тороидального баллона (гуанелла / ток) 1:1. В том, что справа, используется техника перекрестной намотки Райзерта.

Этот балун, который также обеспечивает полный допустимый уровень мощности любительского радио, имеет небольшой компромисс в высокочастотной характеристике, поскольку не используется дополнительная изоляция, характеристическое сопротивление двух плотно зажатых проводов №14 Thermaleze составляет 45 Ом. При использовании одного слоя скотча № 92 сопротивление увеличивается до 50 Ом, но для большей части высокочастотного диапазона разница в производительности между балунами, использующими линии передачи 45 и 50 Ом, должна быть незначительной. Даже без дополнительной изоляции пробой напряжения должен быть очень выгодным по сравнению с коаксиалами меньшей мощности, используемыми в версиях Reiser (1900 вольт).



**Фото ( I )** - Две маломощные версии бифилярного тороидального преобразователя (Guanella / токовый) Балун 1:1, способный обрабатывать выходные данные практически любого высокочастотного приемопередатчика. Балун слева имеет перекрестие.

На фото ( I ) показаны две маломощные версии биполярного тороидального балуна, способные подавать сигнал практически на любой высокочастотный приемопередатчик, одна имеет перекрестную обмотку, а другая - непрерывную, они оба имеют по 10 бифилярных витков провода thermallaeze № 16 на ферритовом тороде диаметром 1,25 дюйма с проницаемостью 250. Поскольку эффективность не является серьезной проблемой при использовании малой мощности. Я не нашел причин объединять две версии. мы используем более низкие значения. Интересно отметить, что два плотно зажатых провода терморезистора №16 имеют характеристическое сопротивление, близкое к 50 Ом, поэтому этот небольшой балун (особенно с его короткими выводами) обладает очень хорошей высокочастотной характеристикой.



**Фото ( J )** - Две версии бифилярного тороидального преобразователя средней мощности (Гуанелла/ток) балун 1:1 способен работать с полным допустимым пределом мощности любительского радио, когда КСВН меньше 2:1. Балун слева имеет перекрестие.

На фото (J) показаны две версии бифилярного тороидального балуна средней мощности, способные выдерживать полный допустимый предел мощности любительской радиосвязи в контролируемых условиях - когда КСВН составляет менее 2:1. Он меньше, чем его более крупный аналог (2,4 дюйма в диаметре). Его теплоотводящая способность и, следовательно, номинальная мощность меньше. Как и раньше. в одном балуне используется переходник, а в другом - нет. В каждом по 8 бифилярных витков провода Thermaleze № 14 на ферритовом тороиде диаметром 1,5 дюйма. Проницаемость феррита и ожидаемая полоса пропускания такие же, как и у других мощных обратных магнитопроводов, поскольку средняя длина магнитного пути в сердечнике составляет примерно две трети от длины сердечника диаметром 2,4 дюйма, для получения аналогичной низкочастотной характеристики требуется всего 8 бифилярных витков. Несмотря на то, что характеристические сопротивления их бифилярных обмоток составляют 45 Ом, их характеристики на расстоянии 10 метров должны быть несколько лучше, чем у "экономичных" моделей, поскольку длина их линий передачи короче (18 дюймов по сравнению с 24 дюймами).

А теперь несколько слов о том, какого рода эффективности можно ожидать при отказе от низкочастотной характеристики за счет использования ферритовых материалов с более низкой проницаемостью. Из более ранних исследований <sup>[3]</sup> было обнаружено, что эффективность (при достаточном дросселировании, чтобы протекали только токи линии передачи) связана с проницаемостью, падением напряжения по длине линии передачи и частотой. Чем выше проницаемость или напряжение, тем больше потери. Кроме того, чем выше проницаемость, тем больше потери с частотой. Было также обнаружено, что проницаемость менее 300μ была необходима для того, чтобы получить очень высокую эффективность, на которую способны эти устройства.

Исходя из результатов исследований, ниже приведены некоторые показатели эффективности, которые можно было бы ожидать от ферритов при соответствующих условиях:

1. При использовании материала 250 $\mu$  КПД составляет около 99 процентов при частоте 1,8 МГц и 97 процентов при частоте 30 МГц.
2. При использовании материала 125 $\mu$  КПД составляет около 99 процентов на частоте 35 МГц и 98 процентов на частоте 30 МГц.
3. При использовании материала 40 $\mu$  КПД составляет 99 процентов на частоте 14 МГц и 30 МГц.

Когда балун подвергается воздействию высокого импеданса, приводящего к КСВН 2:1, напряжение и, следовательно, потери увеличиваются примерно на 40 процентов. При КСВН 4:1 потери удваиваются, при КСВН 10:1 потери увеличиваются более чем втрое, поскольку в этом исследовании были получены ограниченные данные <sup>[3]</sup>, это увеличение потерь при увеличении КСВН вполне может быть больше

### Резюме

При подготовке этой статьи я был весьма удивлен, все еще видя конструкции с ферритовым сердечником и порошковым железным сердечником в соотношении 1:1, которые были доступны в литературе и других источниках с 1964 г. Они не только имели плохие низкочастотные и высокочастотные характеристики, но и были чувствительны к потоку в сердечниках при их изготовлении. Кроме того, поскольку в них использовались только провода с одинарным покрытием, они, несомненно, также были подвержены пробоем напряжения. Эти конструкции были ответственны за плохую репутацию, которую балун имел на протяжении многих лет.

Только в 1978 году Райзерт, опубликовал свою статью. балун стал доступен с одним из атрибутов хорошего дизайна, а именно:

- a)** Эффективен, потому что в нем используется сердечник постоянного тока.
- b)** Обладает низким реактивным сопротивлением подавления, что соответствует его требованиям к низкой частоте.
- c)** Не подвержен потоку в сердечнике (и, следовательно, насыщению), поскольку у него нет третьей обмотки.
- d)** Имеет характеристическое сопротивление 50 Ом и, таким образом, поддерживает коэффициент преобразования 1:1 при нагрузке 50 Ом.
- e)** Обладает хорошей способностью к пробоем напряжения (1900 Вольт).
- f)** Может работать с несогласованной и несбалансированной нагрузкой.

Однако последующие следователи. не увидели преимуществ своей конструкции и предложили свою. Удивительно, но они принадлежали к двум различным группам. Одна предпочитала балуны с «воздушным сердечником», а другая - «дроссельные» (коаксиальные) балуны.

Основным аргументом, приведенным последователями "воздушного сердечника", было то, что их балун никогда не будет испытывать проблем с насыщением, в то время как балун с "ферритовым сердечником" будет. Балун Рейзерта, однако, представляет собой балун типа ток/дроссель, который может иметь поток в сердечнике только из-за дисбаланса (инвертированного L) тока, который намного меньше токов линии передачи. Фактически, при любой степени подавления реактивного сопротивления спиральной линии передачи ток дисбаланса по существу, пренебрежимо мал, поэтому насыщение не является проблемой для такого балуна, как у Райзера. Но, справедливости ради, следует отметить, что при соотношении тока/дросселя и напряжения 4:1 это совсем другая история. Все три или эти типы балунов имеют "намагничивающую индуктивность" в своих низкочастотных моделях и, следовательно, возможность насыщения при плохой конструкции.

Сторонники "дроссельного" балуна 1:1 утверждают, что их коаксиальный балун с бусинами не может насыщать, в то время как бифилярный (токовый) тороидальный балун может, это совершенно неверно, поскольку они в основном имеют одинаковую структуру - ни у одного из них нет третьего проводника, который мог бы обеспечить поток, вызывающий ток на очень низкочастотном конце, но из всех перечисленных выше характеристик балуна Reisert балун первого типа имеет "дроссельный" недостаток в ВЧ диапазоне, поскольку его линия передачи не обмотана вокруг тороида, у него нет коэффициента умножения  $N^2$  (из-за взаимного сцепление). где  $N$  - количество витков, в то время как тороидальный балун делает это, следовательно, требуются бусины с более высокой проницаемостью, чтобы получить достаточное сопротивление дросселированию. Это приводит к снижению эффективности.

И, наконец, я совершенно уверен, что некоторые читатели этой статьи не согласятся с моими взглядами или подумают, что у них дизайн лучше, чем у балунов Reisert и представленных здесь, если это так, я призываю их откликнуться в печати. Таким образом, мы все извлечем пользу из новой информации.

## Рекомендации [ \* ]

1. Jerry Sevick, W2FMI, "More on the 4: 1 Balun,"  
Co. February 1994, pages 28-36
2. Jerry Sevick, W2FMI, "Baluns Revisited."  
*commomceuore Quarterly*. Summer 1992.  
pages 13-18
3. Jerry Sevick , W2FMI, *Transmission Line  
Transformers*, 2nd edition, Amateur Rad io Relay  
league, Newington, Connecticut, 1990.
4. Jerry Sevick, W2FMI, "The 2:1 Unun Matching Transformer," Co. August 1992,  
pages 13-18 ,
- 5 Jerry Sevick, W2FMI. "A Balun Essay,"  
Co. June 1993, pages 50-59.
6. Richard A Genaiue. W4UW. "How to  
Build a Multi-Tap Unun," *CO*. May 1992, pages  
28- 32.
7. Bruce Eggers, WA9NEW, "An Analysis of  
the Balun," *OS T*, April 19S0, pages 19-21,
8. G, Guanelra. "Novel Matching Systems  
lor High Frequenc ies," *Brown-Boven Review*.  
Volume 31, September 1944, pages 327-329
9. C. L Ruthroff, "Some Broad-Band Transformers,"  
*Proceedings of/he IRE*, Volume 47,  
August 1959. pages 1337-1342.
10. Richard H. Turrin, W2IMU, "Broad-Band  
Balun Transformers," *QST*. August 1964,  
pages 33-35.
11. Richard H Turrin, W21MU, "Application  
of Broad-Band Balun Transtorners." *OST*,  
April 1969, pages 42 , 43

12. Joe Reisert, W1JR, "Simple and Efficient Broadband Balun: *Ham Radio*, September 1978, pages 12- 15,
13. George Badger. W6IC, "A New Class of Coaxial-Line Transformers. Part 1," *Ham Radio*, February 1980, pages 12- 18
14. George Badger. W6IC, "A New Class of Coaxial-line Transformers, Part 2," *Ham Radio*. March 1980, pages 18-29, 70.
15. Bill Orr, W6SAI. "Radio Fundamentals: The Coax Balun." *CO*, November 1993. pages 60-65.
16. Walt Maxwell, W2DU. "Some Aspects of the Balun Problem," *QST*, March 1983, pages 38-40.
17. Roy Lewallen, W7EL. "Baluns: What They Do and How They Do It," *The ARRL Antenna Compendium*. Volume 1. Amateur Radio Relay League, Newington, Connecticut, 1985, pages 12- 15
18. Jerry Sevick. W2FMI. "Baluns for Antenna Tuners," *CQ*. November 1993, pages 50-59.
19. John Belrose. VE2CU, "Transforming the Balun" *QST*, June 1991, pages 30-33.
20. Albert Roehm, W20BJ, "Some Additional Aspects of the Balun Problem," *The ARRL Antenna Compendium*, Volume 2, Amateur Radio Relay League, Newington, Connecticut. pages 172-174.