

КОРОТКИЕ ВОЛНЫ Q.S.L.

Под ред. проф. М. А. Бонч-Бруевича.

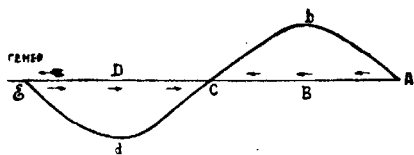
Инж. А. Пистолькорс.

КОРОТКИЕ ВОЛНЫ В ПРОВОДАХ.

(Лехерова система и ее применение в практике коротких волн.)

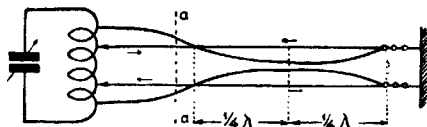
Стоячие волны тока.

Короткие волны распространяются вдоль провода не так, как привыкли мы себе представлять распространение тока. Обычно мы считаем, что ток в любом месте провода имеет одинаковую



Черт. 1.

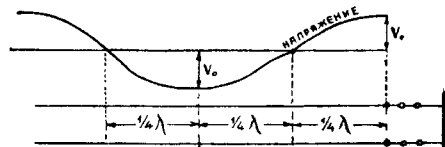
силу. При колебательном же токе это оказывается неверным; в проводах образуются так называемые «стоячие волны» тока и напряжения, вызываемые отражением электричества от конца провода. Строго говоря, такие волны образуются при всяком переменном токе, но наблюдать их мы не можем, так как для этого нужны вообще очень длинные провода: нужно, чтобы длина провода или пары проводов превышала по крайней мере $\frac{1}{4}$ длины волны. Для коротких волн это очень легко осуществить.



Черт. 2.

Разберем сначала, что происходит в одиночном проводе. Пусть имеется достаточно длинный провод, у которого на одном конце *E* находится коротковолновой генератор, а другой конец *A* изолирован (черт. 1).

Как мы уже указывали, ток в таком проводе не будет одинаков вдоль по его длине. На конце ток равен 0, а по мере удаления от конца он появляется и постепенно становится все



Черт. 3.

больше, пока в точке *B*, удаленной от конца на $\frac{1}{4}$ волны, он не достигнет наибольшего значения. Это значит, что если мы будем включать амперметр в различных местах провода между точками *A* и *B*, то он будет показывать все больший и больший ток по мере

приближения к точке *B*, причем сила тока будет изменяться по кривой *АвС* черт. 1-го.

За точкой *B* ток постепенно спадает до точки *C*, где он прекращается совсем. Расстояние от *C* до *A* равно половине длины волны коротковолнового генератора.

Дальше, за точкой *C*, ток вновь возрастает, достигая в *D* своего наибольшего значения, а затем опять спадает до нуля, после чего все повторяется сначала. Расстояние *AD* равно $\frac{3}{4}$ волны, расстояние *AE*—целая длина волны генератора. В точках максимумов (*B* и *D*) амперметр покажет одинаковую силу тока, но ток в каждый данный момент в этих точках течет в противоположные стороны (как, напр., указано стрелками). Чтобы это было видно на чертеже, кривую распределения тока *СdE* мы располагаем вниз от линии *EA*, тогда как первая часть ее *AbC* расположена вверх от *EA*. Кривая *AbcdE* имеет вид так называемой синусоидальной кривой. Когда мы имеем такое неравномерное распределение тока вдоль провода, то говорим, что в проводе установилась стоячая волна тока. Места наибольшей силы тока (точки *B* и *D*) называются пучностями тока, а те места, где он равен нулю (точки *A*, *C*, *E*), называются узлами тока. Мы видим, что как соседние узлы, так и пучности находятся друг от друга на расстоянии полволны.

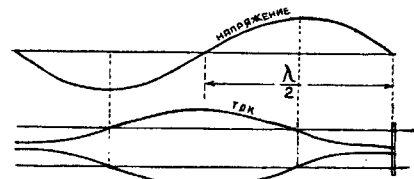
Мы рассматривали провод достаточно длинный, но если бы он был короче, напр., всего $\frac{1}{4}$ волны (т. е. в точке *B* был бы уже генератор), все равно распределение тока было бы неравномерным. При этом так как на конце провода ток равен всегда 0, то на конце провода (*A*) будет узел, а у генератора (*B*)—пучность тока.

Теперь важно заметить, что если мы имеем одиночный провод, в котором установились стоячие волны тока, то он излучает в пространство радиоволны. Это значит, что он расходует энергию. Расход энергии на излучение при коротких волнах весьма значителен и все возрастает с укорочением длины волны. Если нам нужно, чтобы провод излучал, то это будет полезным расходом энергии, но иногда этого как раз не нужно и тогда этот расход будет потерей энергии. Такой случай, напр., мы имеем, если провод *EA* сам по себе не является антенной, а служит лишь для подвода энергии к антенне. В этом случае энергия, по-

терянная в нем на излучение, не только пропадет даром для нас, но может даже принести вред, мешая излучению настоящей антенны.

Лехерова система.

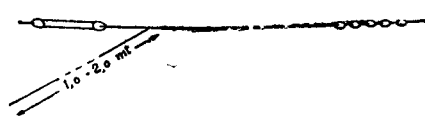
Для подводки тока без потерь энергии на излучение применяется двухпроводная линия или так называемая Лехерова система (черт. 2). Она состоит из двух проводов, идущих на небольшом сравнительно расстоянии друг от друга. На черт. 2 изображена Лехерова система, изолированная на одном конце и присоединенная другим концом к генератору. В этой системе мы также видим образование стоячих волн тока. Но, присмотревшись к чертежу, можно заметить, что в одном и том же месте (напр., разрез *aa*) ток в каждом проводе течет в противоположные стороны. Это очень важно. Благодаря



Черт. 4.

этому обстоятельству оба провода мешают друг другу излучать энергию и Лехерова система не имеет потерь на излучение.

До сих пор мы говорили о стоячих волнах тока, но такие же волны имеют место и для напряжения. На черт. 3, показано распределение напряжения вдоль Лехеровой системы. Мы видим здесь такую же кривую, что и для тока; здесь также наблюдаются узлы и пучности. Но только пучности напря-



Черт. 5.

жения приходится как раз там, где ток имеет узлы и наоборот. Это легко видеть, сравнивая чертежи 2 и 3.

Очень часто применяют Лехерову систему с мостиком. Так называется передвижной проводник, соединяющий на коротко оба провода системы. Этот мостик можно устроить из двух тонких медных пластин, свинчиваемых вместе. Когда мостик нужно передвинуть,—винты ослабляются, а потом опять завинчиваются. Лехерова система с мостиком отличается тем, что в месте нахождения мостика всегда напряжение между проводами будет равно нулю, здесь будет узел напряжения, а, следовательно, пучность тока. Как при этом располо-

жятся кривые тока и напряжения, показано на черт. 4.

Следовательно, устанавливая мостик где-нибудь на системе, мы тем самым определяем место пучности тока. Это очень удобно, когда система предназначена для работы с разными длинами волн, так как позволяет легко менять и настройку системы. Дело в том, что для получения отчетливых стоячих волн Лехерову систему нельзя приключить к генератору как-нибудь. Нужно обязательно, чтобы генератор находился в определенном месте, например в пучности тока. Это показано на черт. 2, где система присоединена к катушке генератора так, что у катушки проходит пучность тока. Если мы теперь будем менять волну генератора, то на проводе не уложится уже ровно $\frac{3}{4}$ волны. Так как на конце системы всегда будет узел тока, наш генератор выйдет из пучности и стоячие волны в таком случае получатся очень слабыми. Если же у нас имеется мостик, то мы всегда его можем подвинуть так, чтобы генератор опять попал в пучность тока.

Опыты с Лехеровой системой.

Нетрудно проделать опыт, позволяющий наглядно убедиться в сказанном. Для этого нужно иметь коротковолновой генератор, Лехерову систему и несколько лампочек от карманного фонаря. Генератор должен быть достаточной мощности—из двух десятиватток; с двумя усилительными или микро-лампами удовлетворительные результаты можно получить лишь при очень хорошем генераторе. Диапазон волн: 30 метров и ниже. Лехерову систему нужно взять из двух проводов диаметром около 1 мм (очень хорош телефонный бронзовый провод) и натянуть эти провода на расстоянии 5—10 см один от другого, заботясь о том, чтобы это расстояние не менялось между проводами. Для этого между ними надо поставить эбонитовые или стеклянные распорки на расстоянии 3-4 метров одна от другой. Систему лучше взять возможно длиннее, желательнее метров 25—30. Концы проводов должны быть изолированы, особенно концы, ближайšie к генератору. Здесь провод нужно перехватить не доходя генератора, как по-



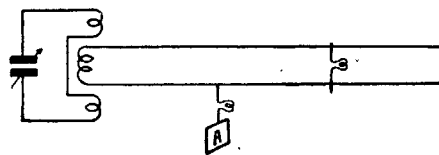
Черт. 6.

казано на черт. 5, оставив конец свободным для соединения с генератором. Изоляторы должны быть орешковидные—цепочка из 4-5 штук, связанных обязательно веревкой, а не проволокой,—или же стеклянные—трубчатые или целые.

Взяв лампочку от карманного фонаря,

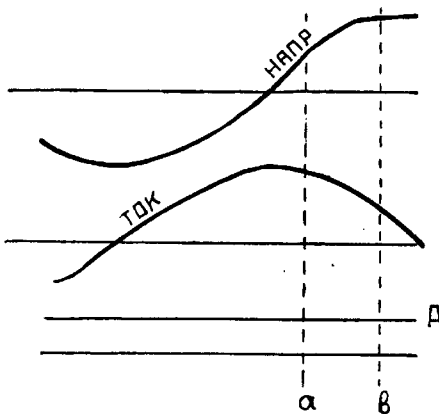
припаиваем к ней два жестких голых проводничка и отводим их в противоположные стороны. Концы проводников нужно загнуть так, чтобы они обхватывали провода Лехеровой системы, как показано на черт. 6, позволяя, однако, передвигать полученный мостик с лампочкой вдоль системы. Концы системы соединяются с генератором или так, как показано на черт. 2, или связываются индуктивно (черт. 7). И в том и в другом случае наиболее выгодную связь надо подбирать на опыте.

Настроив генератор на какую-нибудь волну, напр., 20 метр., передвигают затем мостик, удаляясь от генератора.



Черт. 7.

Лампочка в мостике, которая вначале светится, постепенно гаснет; но если отойти примерно на полволны, она опять загорается и когда она будет светиться сильнее всего,—Лехерова система будет настроена. Тогда на системе уложится стоячая полуволна с пучностями тока у лампочки и у генератора. Если дви-



Черт. 8.

гать лампочку дальше, то она снова погаснет и загорится опять, когда от генератора до мостика уложатся две полуволны и т. д.

Когда Лехерова система настроена, мы можем также обнаружить узлы в пучности напряжения. Узлы напряжения можно отыскать, касаясь провода каким-нибудь проводником, зажатым в руке. Обычно при таком прикосновении настройка системы нарушается и лампочка в мостике гаснет. Но если мы коснемся провода в узле напряжения, то не нарушим настройки и все останется без перемен. Это происходит потому, что в узле провод не имеет напряжения и поэтому, соединяя узел с землей, мы не можем отвлечь ток на землю. Узлы напряжения находятся там же, где пучность тока. Чтобы отыскать пучности, нужно к одному из проводов подвесить лампочку от карманного фонаря так, как показано на черт. 7. Лист

А может быть из любого металла (кроме железа) размером 10×10 см или больше. Лампочка будет калиться сильнее всего в пучности напряжения, потому что здесь сильнее всего будет стекать ток с провода через лампочку и емкость металлического листа.

Если генератор имеет значительную мощность, то, подвесив в пучности напряжения обыкновенную электрическую лампочку (без листа), мы сможем наблюдать синеватое сияние содержащегося в ней разреженного воздуха. Если сойти с пучности напряжения—описанные явления исчезают.

Об измерении длины волны.

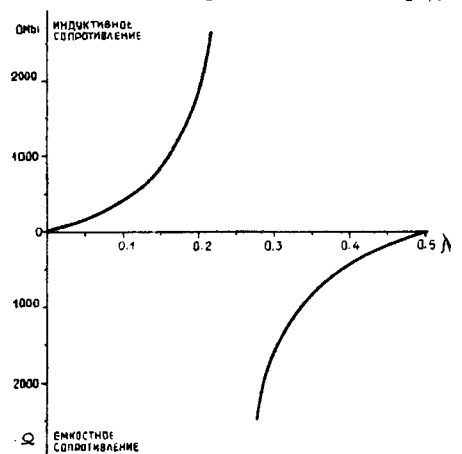
Читатель из всего сказанного, между прочим, может сделать то заключение, что Лехерову систему удобно применить для определения длины волны генератора. В самом деле, смерив расстояние между двумя соседними пучностями тока, мы будем иметь ровно половину длины волны.

Следует, однако, заметить, что измерение волны помощью описанной установки даст не совсем точные результаты. Лампочка, находящаяся в мостике, поглощает энергию и вследствие того смирная волна будет несколько короче действительной. Ошибка в измерении достигает 1-2%. Чтобы избежать этой ошибки в лабораторных установках вместо лампочки применяются чувствительные приборы, которые кроме того не включаются в мостик, а связываются с ним индуктивно. Самый способ остается тем же и применяется для градуировки коротковолновых волномеров.

Познакомимся теперь еще с некоторыми свойствами Лехеровой системы, которые, между прочим, позволят нам дальше описать еще один более точный способ измерения длины волны.

Лехерова система как безваттное сопротивление.

Самоиндукция и емкость, встречающиеся на пути переменного тока, пред-

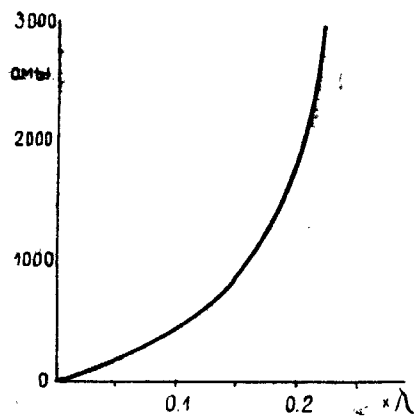


Черт. 9.

ставляют для него так называемое безваттное сопротивление—индуктивное или емкостное. Лехерова система тоже мо-

жет быть использована как такое сопротивление, притом обладающее иногда преимуществами по сравнению с обычными катушками самоиндукции и конденсаторами.

Чтобы понять, почему это так, обратимся к чертежу 8. Здесь представлены кривые тока и напряжения вдоль Лехеровой системы, оканчивающейся в А. Мы знаем, что волнообразное распределение тока и напряжения происходит вследствие отражения от конца проводника. Но можно взглянуть на дело несколько иначе. Возьмем два сечения а и в на системе и заметим, что ток в а больше, чем в в, а напряжение—наоборот. Если это так, то



Черт. 10.

мы можем сказать, что сопротивление Лехеровой системы в а меньше чем в в. Под сопротивлением мы понимаем сопротивление участка системы длиной от конца до а и от конца до в.

Рассуждая так, мы можем определить сопротивление для Лехеровой системы любой длины. Оказывается, что в зависимости от длины оно может быть как индуктивным (равноценно сопротивлению катушки самоиндукции), так и емкостным. На черт. 9 приведены кривые этого сопротивления для Лехеровой системы с мостиком. Кривые относятся к системе из проводов диам. 1 мм на расстоянии 8 см один от другого, но будут примерно такими же для всех систем сходных размеров. На чертеже вверх от горизонтальной оси отложено индуктивное сопротивление в омах, вниз—емкостное. По горизонтальной оси отложена длина Лехеровой системы в долях волны. Положим, мы хотим иметь такую систему, чтобы ее сопротивление было индуктивным и равнялось бы 1 000 ом. По кривым нетрудно определить, что для этого система должна иметь длину равную 0,16 длины волны.

Кривые безваттного сопротивления Лехеровой системы позволяют, между прочим, уяснить, в чем собственно состоит процесс настройки системы. Чтобы получить наибольший ток, а следовательно, и наиболее заметные стоячие волны, нужно, чтобы подключаемая к генератору Лехерова система не имела

большого сопротивления; меньше всего это сопротивление будет как раз тогда, когда длина системы равна полуволне или кратна ей; при этом генератор окажется в пучности тока.

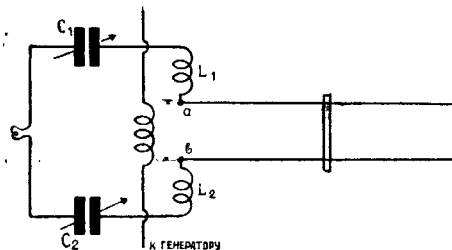
Применять Лехерову систему вместо катушек самоиндукции и конденсаторов имеет смысл при очень коротких волнах, особенно при волнах порядка нескольких метров. Преимущества здесь те, что Лехерова система имеет очень малые потери, которые в катушках и конденсаторах с укорочением волны сильно возрастают. Лехерову систему удобнее применять взамен дросселей или блокировочных конденсаторов, в колебательных контурах использовать ее сложнее¹⁾. Конечно, нужно помнить, что Лехерова система представляет определенное безваттное сопротивление лишь при данной волне; как только переменим волну—сопротивление изменится. Нужно заметить также, что для конденсаторов (если они не должны пропускать постоянного тока) следует брать систему без мостика. Кривые емкостного сопротивления для такой системы даны на черт. 10. В этом случае концы проводов должны быть хорошо изолированы.

Еще об измерении волны.

Ознакомившись с сопротивлением Лехеровой системы, мы можем описать еще один способ измерения длины волны, требующий, однако, по возможности мощного генератора. Для этого необходимо иметь симметричный колебательный контур, связанный индуктивно с генератором (черт. 11). Конденсаторы должны иметь емкость примерно, от 8 до 100 см, катушки из 4—10 витков диаметром около 8 см. В контуре в качестве индикатора включена лампочка

от карманного фонаря. Связь должна быть возможно слабой, почему и желателен генератор помощнее. Колебательный контур разорван в точках а и в, где приключена Лехерова система с мостиком. Мостик устанавливают сперва недалеко от контура (около $\frac{1}{8}$ волны) и настраивают контур в резонанс: при этом лампочка вспыхивает. Затем, не трогая контура, отодвигают мостик до тех пор, пока лампочка вновь не загорится ярче всего. Расстояние между первым положением и последним будет как раз полуволны. Способ этот основан на том, что одни и те же значения сопротивления системы повторяются по длине системы строго через полуволны, если только система не имеет больших потерь энергии.

В заключение мы укажем, что особенно большое значение имеет Лехерова система для подводки энергии к антеннам и в частности к сложным направленным антеннам. Мы не будем останавливаться на этом вопросе, требующем специального очерка.



Черт. 11.

Как видит читатель, в технике коротких волн Лехерова система получила широкое использование; она имеет все основания к тому, чтобы занять подобающее место и в практике наших радиолюбителей-коротковолновиков.

Короткие волны за границей,

Голландия. О коротковолновой радиовещательной станции заводской лаборатории ламповой фирмы Филипс в Эйндховене сообщалось уже неоднократно. Станция продолжает работать

регулярно с отличной слышимостью во всех частях света. Волна попрежнему около 30 м (точнее 30,92 м). Начав свою регулярную работу «мировым концертом», 28 апреля текущего года, Гол-

¹⁾ Полезно вспомнить, что индуктивное сопротивление катушки с самоиндукцией L равно $6,28 fL$ ом, емкостное сопротивление для конденсатора C равно $1/6,28fC$ ом, где f—частота колебаний = $3 \cdot 10^8/\lambda$, где λ длина

волны в метрах. L и C должны быть выражены в генри и фарадах. По этим формулам можно определить, какой катушке и какому конденсатору эквиваленты Лехерова система той или другой длины.

Подписался ли ты на журнал
„РАДИО ВСЕМ“?
Если нет, поспеши подписаться!