

~~ДОСТРОУМОВ~~

возможно. На остроту нашего органа слуха влияют самые разнообразные факторы—состояние нашего организма, степень утомления слухового нерва и всей центральной нервной системы, напряжение внимания и даже обстановка опыта. Разительным является, например, факт взаимного влияния световых ощущений на звуковые и обратно. Каждый может, например, проделать такой опыт. Если слу-

ни даже определенной интенсивности потому, что все отдельные вибрации сливаются в сплошной шум. Однако даже чистые мелодичные звуки большинства музыкальных инструментов оказываются на самом деле сложными. В них ясно выраженный тон и определенная интенсивность обусловлены лишь тем, что из всего разнообразия составляющих их отдельных звуков самый низкий по высоте

сеивается—распределяется на большие объемы его. Не трудно убедиться, что если бы действовала только эта причина, то интенсивность звука подобно излучаемой антенной энергии или силе света была бы обратно пропорциональна квадрату расстояния и не зависела бы совсем от частоты колебаний. Но существует еще вторая причина ослабления звука с расстоянием—это затухание его вследствие непрерывного превращения звуковой энергии в тепловое движение молекул воздуха. Это поглощение звука происходит по-разному в зависимости от давления воздуха, температуры, влажности и, что самое существенное, от частоты колебаний—затухание возрастает с частотой. Поэтому дальность, на которой мы еще можем уловить звук свистка или колокола, не только меняется в зависимости от окружающих условий, но она всегда оказывается больше для низких звуков и меньше для звуков высоких. Вот почему от приближающегося оркестра мы скорее улавливаем лишь звуки барабана и труб, а потом делаются слышными и другие инструменты, несмотря на то, что чувствительность уха падает с понижением тона.

Все это справедливо для звуковых волн, распространяющихся на открытом воздухе,—в закрытых помещениях явления значительно осложняются тем, что стены отражают звуковые волны и в каждой точке комнаты мы слышим звук, не только полученный от источника непосредственно, но и после однократного или даже многократного отражения, конечно, соответственно ослабленный, так как помимо некоторой потери энергии при самом отражении путь, который приходится пробегать отраженной волне, всегда длиннее, чем путь волны, идущей от источника непосредственно.

Это приводит к целому ряду новых явлений, с которыми приходится считаться как музыкантам, так и специалистам по радиовещанию. Прежде всего очевидно, что продолжительность слышимого звука в закрытом помещении оказывается гораздо больше, чем продолжительность звучания самого музыкального инструмента. Действительно, произведем какой-нибудь короткий звук в одном конце комнаты и проследим, какое ощущение должно получить ухо, помещенное в другом конце ее. Промежуток времени, в течение которого ухо будет слышать волну, дошедшую по прямой линии, будет почти точно равен продолжительности звучания инструмента, во-первых, а во-вторых, именно эту волну ухо воспримет всего раньше после начала звука, с опозданием лишь на то время, какое нужно звуку, чтобы добежать до уха по кратчайшему пути. Скорость звука равна приблизительно 320 метрам в секунду, не трудно вычислить запоздание восприятия звука, если известно расстояние от источника его до уха. Очевидно, что для отраженных волн это запоздание будет

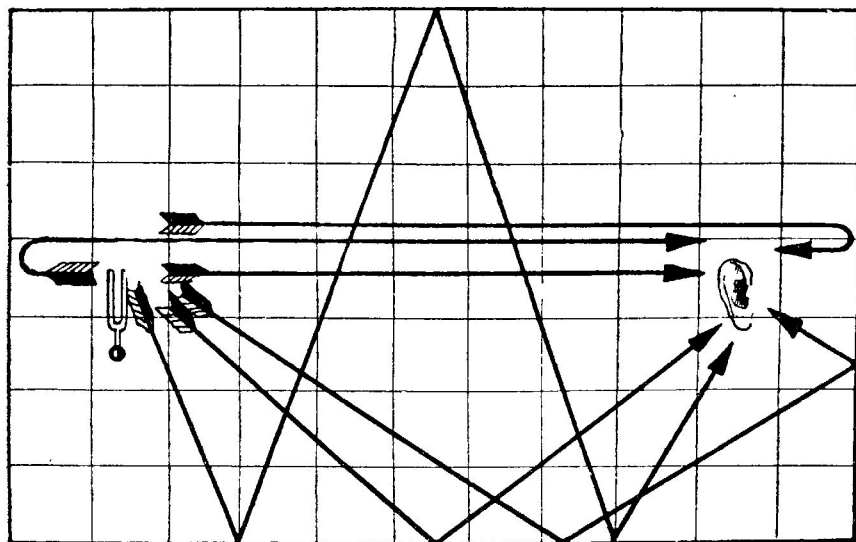


Рис. 2

шать внимательно какую-либо музыкальную ноту и в это время ритмично тушить и зажигать свет, то иногда можно будет наблюдать кажущееся субъективное изменение звука, в то время как на самом деле постоянство его может быть объективно установлено. Это свидетельствует только о ритмическом изменении чувствительности центров слуха в зависимости от зрительных ощущений.

обладает максимальной амплитудой и поэтому накладывает свой отпечаток на весь комплекс звуковых колебаний, доходящих до нашего уха. Более слабые и более высокие добавочные тоны в таком сложном звуке называются его обертонами и обуславливают тот своеобразный характер его, который обычно называют словом «тембр» и который позволяет нам легко отличать друг от друга сложные звуки одного тона и одной приблизительно интенсивности, например звуки флейты от скрипки или рояля.

Только приняв во внимание все сказанное выше, мы можем оценить все значение последних успехов радиотехники, позволяющей ныне при помощи сравнительно простых в обращении аппаратов на одной единственной излучаемой антенной электромагнитной волне передавать за тысячи километров самые дорогие музыкальные произведения так, что даже для самого чуткого уха сохраняется полная иллюзия непосредственного восприятия музыки.

Но ведь самым главным передатчиком звука является воздух, та среда, в которой звуки распространяются. Очевидно, что законы распространения звуков воздуха должны были быть изучены в первую очередь. В настоящее время мы знаем, что звуки на открытом воздухе распространяются с значительным ослаблением, которое зависит только от двух причин. Первая—это ослабление интенсивности звука вследствие того, что фронт звуковой волны по мере удаления от источника звука делается все шире и шире, а, следовательно, энергия отдельных сжатий и расширений воздуха рас-

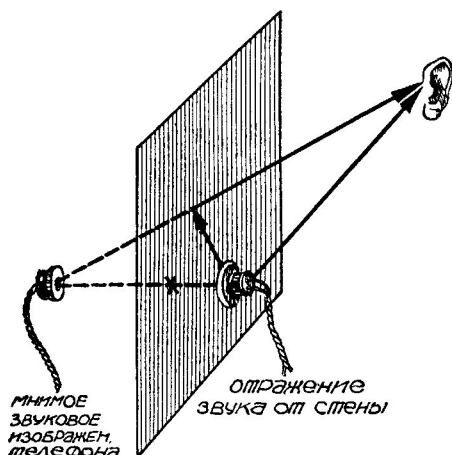


Рис. 3

Все сказанное выше относилось, собственно говоря, лишь к восприятию одного простого слышимого звука; такой звук дает камертон. Он характеризуется лишь одной частотой. На самом деле мы воспринимаем обычно не один звук, а несколько и воздушное давление в ухе меняется не с одной, а с несколькими налагающимися друг на друга частотами. Получается ощущение так называемого сложного звука, в котором мы иногда не можем различить ни высоты тона,

тем больше, чем большее число отражений претерпит такая волна и чем длиннее будет путь ее от источника звука до уха (рис. 2). Конечно, интенсивность звука при этом будет ослаблена. Такие запоздавшие звуковые волны будут продолжать доходить до уха спустя значительный промежуток времени после того, как источник звука уже замолкнет, и дадут нам своеобразное впечатление, как будто вся комната наполнена звуками, со всех сторон устремляющимися в ухо и постепенно замирающими—это так называемое явление реверберации. Очевидно, что разные помещения могут сильно отличаться друг от друга в этом отношении и казаться нам более или менее глухими или же глухими, в зависимости от того, как расположены их стены и сколь совершенно они отражают звуки. Исследование реверберации помещений является основной задачей строительной акустики, так как очевидно продолжительность реверберации должна оказывать громадное влияние не только на достоинства исполняемых в них музыкальных произведений, но и на выносливость и отчетливость речи оратора. Ведь запоздавшие звуки примешиваются к тем, которые следуют за ними, давая непредвиденные сложные звуки и аккорды—слоги смешиваются и речь, несмотря на большую громкость, делается непонятной.

Чистота и отчетливость современных радиопередач в значительной степени объясняется тем, что они ведутся из специальных студий, стены которых обшиты мягкой материей, а специальный выбор формы комнаты доводит до минимума влияние отраженных звуковых волн.

Однако с явлением отражения звука связано не только искажение его вследствие реверберации—оно влечет за собой еще другое не менее важное явление—интерференцию звуковых волн, дошедших до уха разными путями, т. е. их взаимное усиление или ослабление. Зная скорость распространения звука и частоту колебаний, мы легко сможем подсчитать, сколько на определенной длине пути уложится сгущений и разрежений воздуха, а, следовательно, расстояние между ними, т. е. длину волны в воздухе. Очевидно, что, если две волны доходят до нас, проходя пути, разность длины которых равна целому числу волн, то в ухо будут от обеих волн попадать одновременно или сгущения или разрежения воздуха и изменения давления внутри уха от двух волн будут более интенсивными, чем от одной только из них. Если же разность путей будет равна нечетному числу полуволн, то сгущение от одной волны будет парализовано разрежением от другой и обратно—в результате получится ослабление и даже иногда полное исчезновение звука.

Легко сделать такой опыт. Если однокорпусный телефон, возбуждаемый током определенной частоты, соответствующей какой-нибудь музыкальной ноте, поднести

на несколько сантиметров к стене, например, на 20—40 см (рис. 3) и слушать его одним ухом, закрыв ладонью второе, то не трудно обнаружить резкое изменение силы звука в зависимости от положения уха. Измерив (хотя бы бечевкой) длину путей звуковых волн, одной—идущей прямо от телефона, а другой—претерпевшей отражение, и приняв во внимание частоту колебаний, нетрудно убедиться, что в первом случае разность путей равна целому числу волн, т. е. четному числу полуволн, а во втором—нечетному числу полуволн.

Места, где звук слышится более сильно, называются «пучностями» колебаний, а где он ослабляется—узлами. Очевидно узлы и пучности будут занимать все пространство около источника звука, и, пока последний неподвижен, будут все время оставаться на одних и тех же местах, образуя правильную геометрическую сетку так называемых «стоячих волн».

Мы знаем, что по законам отражения волна отражения распространяется, как если бы она исходила от источника звука, расположенного за стеной на том же расстоянии, на каком телефон находится перед стеной. Значит подобная же сетка стоячих волн должна получаться и от двух одинаковых источников звука, если их поместить на некотором расстоянии друг от друга, напр. от двойного головного телефона (рис. 4). Совершенно ясно, что густота сетки стоячих волн зависит в первую очередь от длины волны, т. е. от частоты их. Чем выше тон, тем теснее сближаются узлы и пучности.

Рассматривая с этой точки зрения различные места комнаты, мы можем утверждать, что звуки разной высоты будут слышны с разной интенсивностью в зависимости от того, как для них расположены сетки стоячих волн, образовавшихся вследствие отражения звука от стен и потолка комнаты. Поэтому оркестр слышен безукоризненно только в определенных местах залы при определенном расположении инструментов. Об этом необходимо помнить, выбирая место для микрофона, когда приходится вести передачу концертов и опер из театра.

Изучение интерференции звуков однако не только позволяет бороться с ее вредным влиянием. Она дает нам возможность посылать звуковые волны в желаемом направлении. Дело в том, что здесь мы встречаемся с явлениями, совершенно аналогичными явлениям интерференции электромагнитных волн при излучении сложных антенн, позволяющих управлять по желанию направлением излучения и концентрировать энергию электромагнитных волн в определенном пучке. Действительно, если взять несколько источников звука одинаковой частоты и интенсивности, расположить их на одинаковых расстояниях и заставить все колебаться с одинаковыми фазами, т. е. посылать строго одновременно сгущения

и разрежения в окружающий воздух, то нетрудно будет из простых геометрических соображений уяснить себе, как будут эти отдельные сгущения и разрежения воздуха складываться в различных точках пространства и где, таким образом, будет получаться максимальная амплитуда колебаний, т. е. максимальная сила звука.

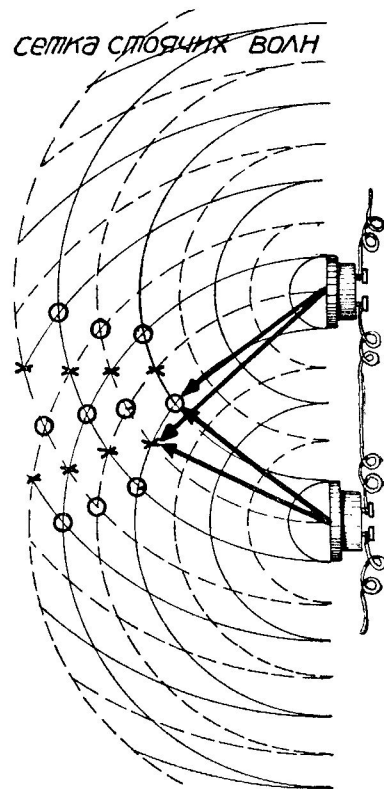


Рис. 4

Возьмем простейший случай двух головных телефонов, обращенных отверстиями в одну сторону и расположенных на таком расстоянии друг от друга, равном половине длины волны даваемого ими тона. Каждый радиолюбитель может легко проверить этот опыт, если сумеет получить от своего регенеративного приемника чистый и устойчивый звуковой тон.

Тогда очевидно, что по линии, перпендикулярной к середине прямой, соединяющей оба телефона (рис. 5), мы всегда будем получать усиление звука, так как длина пути для каждой из двух волн от обоих телефонов до любой точки этого перпендикуляра будет одна и та же (разность равна 0). С другой стороны, по направлению соединительной линии мы для любой точки ее в обе стороны будем получать разность путей в $\frac{1}{2}$ волны, т. е. совпадение сжатия с расширением и следовательно исчезновение звука. Звуковая энергия от такого сложного источника звука не будет уже равномерно распространяться во все стороны, а будет главным образом устремляться по одному направлению.

Очевидно, что подобный же звуковой прожектор получится и в том случае, если в качестве источника звука мы воспользуемся вибрирующей плоскостью, все точки которой колеблются с одинаковой

фазой, при условии, что размеры этой плоскости будут равняться нечетному числу полуволи издаваемого ею звука. Она также будет давать направленное излучение звуковой энергии и заменит собой рупор. На этом принципе между прочим устроен один тип громкоговорителей (выпускаемой фирмой Сименс).

А так как длинные волны затухают гораздо медленней коротких, то для устройства мощных звуковых проекто-

руется в тепло уже на столь ничтожных расстояниях, что изучать их можно только в непосредственной близости от самого источника. Да и самый характер их распространения по мере увеличения частоты начинает сильно изменяться—воздух как бы теряет свою упругость, а начинает походить на густую, вязкую среду, почти не способную к тем быстрым вибрациям, которые соответствуют частотам, близким к радиотелеграфным. При этом

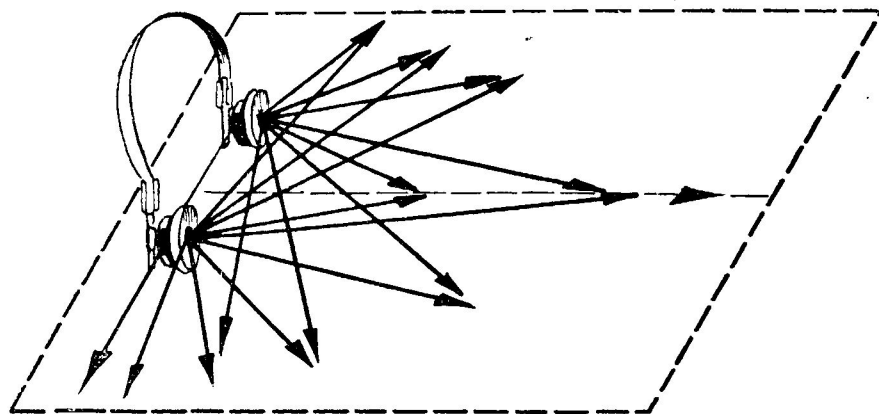


Рис 5

ров, действующих на многие километры, следует брать низкие тона с малым числом колебаний, напр. воспользоваться для питания направленных звуковых генераторов непосредственно током в 50 или даже меньше периодов от городской сети, тем более, что он лежит на границах слышимости и не будет заглушать другие звуки. Передавать знаки Морзе при помощи такой звуковой радиостанции не представляет уже никаких технических трудностей, и все дело сводится к постройке достаточно чувствительных приемных аппаратов, которые могли бы уловить эти неслышимые ухом тональные телеграфные знаки и записать их на ленту.

Таким образом выдвигается задача восприятия неслышимых звуков, самое существование которых не могут обнаружить наши органы чувств. Здесь нам помогают, с одной стороны, явление резонанса звуковых колебаний, которое подобно электрическому резонансу настроенного колебательного контура позволяет при помощи настроенного звукового резонатора уловить едва заметные воздушные вибрации, долетевшие за многие километры, а с другой стороны, электромагнитные механизмы и ламповые усилители, дающие возможность настолько усилить эти слабые звуковые сигналы, что записать их на ленту или превращение их в мощные слышимые звуки делается уже нетрудным.

Если таким образом неслышимые звуки с малыми частотами могут получить непосредственное техническое применение для связи, нельзя того же сказать о звуках ультравысоких, неслышимых вследствие их слишком большой частоты. При распространении их затухание происходит так быстро и их энергия превра-

обнаруживаются такие свойства акустических явлений, которые при обычных условиях остаются мало заметными, и все процессы распространения звука рисуются нам в ином освещении.

При помощи электрического возбуждения колебаний пьезокварцевой пластинки мощным генератором электромагнитных колебаний, настроенным в резонанс с пластинкой, можно получить акустические колебания с частотой порядка ста тысяч колебаний в секунду. Длина звуковой волны, соответствующая таким частотам, измеряется уже только миллиметрами, а подбирая более тонкие пластинки, можно довести ее до десятых и сотых долей миллиметра. Подобные ультракороткие волны можно возбудить не только в воздухе, но и в жидкостях.

Скорость звука в жидкостях вследствие большой упругости их по сравнению с воздухом значительно больше—она в различных жидкостях бывает несколько различна, но приблизительно порядка 1000 метров в секунду, т. е. в три раза более, чем в воздухе. Вместе с тем длина звуковой волны в жидкости оказывается больше, чем в воздухе.

Затухание же в жидкости обычно бывает не так велико, как в воздухе, а потому даже ультракороткие звуковые волны, не слышимые ухом, могут распространяться внутри жидкости на весьма большое расстояние, если только путем направленного излучения получать в ней звуковые лучи. Это делает возможной, напр., подводную связь на неслышимых звуках. Интересной особенностью такой связи оказывается возможность модулировать неслышимый звуковой луч слышимой звуковой частотой, т. е. заставить его интенсивность меняться в соответствии

с частотой и амплитудой слышимых звуков и таким образом заставить его передавать человеческую речь. Конечно, чтобы услышать ее, нам придется воспользоваться специальными приборами, позволяющими превратить энергию неслышимых звуков обратно в слышимые звуки того же рода, какими звуковой луч модулирован.

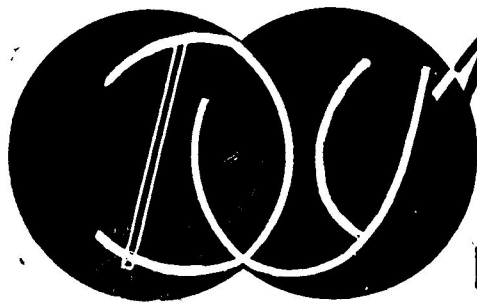
Технически подобная связь может осуществляться хотя бы по следующей схеме: станция отправления—обычный радиопередатчик, модулированный человеческим голосом, но возбуждающий не антенну, а подводный генератор ультразвуковых колебаний.

Станция приема—резонатор, соответствующей ультразвуковой частоты, соединенный с специальным микрофоном, усилителем, детектором, усилителем слышимой частоты и репродуктором.

Конечно, на самом деле при осуществлении подводной связи дело обстоит далеко не так просто, как это кажется с первого раза, и поэтому до сих пор подводная связь не может конкурировать с обыкновенной электромагнитной беспроводной связью, но в некоторых случаях, напр. при подводных работах, она должна получить громадное значение.

При опытах такого рода обычно стараются получить ультразвуки максимальной мощности, т. е. на сколько возможно повысить интенсивность колебаний внутри жидкости. При этом обнаруживается новое и совершенно неожиданное свойство неслышимых звуков большой частоты—именно их способность воздействовать на живые организмы. Когда частота достигает определенного значения, интенсивные колебания жидкости начинают оказывать влияние на процессы, протекающие в живой материи, и по видимому даже разрушают некоторые живые ткани. Лягушки и рыбы в сосудах, где возбуждались ультразвуковые волны, заболели и умирали, а некоторые микроорганизмы и бактерии погибли даже при относительно небольших интенсивностях колебаний. Такой эффект объясняется отчасти громадной плотностью звуковой энергии, которую мы можем сосредоточивать в определенном объеме звучащего тела при высоких частотах. Мы можем указать хотя бы на тот известный всем радиолюбителям факт, что кварцевую пластинку мощным генератором можно заставить колебаться столь интенсивно, что она рассыпается на мелкие кусочки. Это значит, что интенсивность звуковых колебаний в ней возрастает настолько, сжатия и расширения увеличиваются в такой мере, что молекулярные силы не могут уже удерживать отдельные частички кварца в определенном кристаллическом порядке, и пластинка разрушается. А ведь прочность кварца в миллион раз больше прочности органических тканей.

Пока мы не имеем еще широких практических применений неслышимых звуков—самое изучение их началось относи-



Дуплексная ТРАНСЛЯЦИЯ

Е. Красовский

Как известно, техническое оборудование наших трансляционных узлов рассчитано одновременно на одну трансляцию. В тех случаях, когда предъявляются требования транслировать несколько передач, по выбору абонента, обычно в узле устанавливаются несколько усилителей, включаемых на соответствующие линии. Такая установка, конечно, дорога и оказывается не по средствам для большинства наших трансляционных узлов.

Назревшая задача

Задачи, возложенные на радиофикацию районов или отдельных промышленных предприятий, в последнее время настолько расширились, что в некоторых случаях возможность одновременной передачи двух программ стала явно необходимой. Особая нужда в этом выявлялась при обслуживании крупных промышленных предприятий или центров, имеющих ряд отделов или заводов со специфическими для них условиями. В таком случае, наряду с общим планом культуры, встает необходимость в специальных передачах, относящихся к специальным информации или проведению всякого рода кампаний и т. п. При крайне ограниченном времени, отведенном для культослуживания по радио (в перерывах между работой), отказ от двух программ суживает поставленные задачи. Вот почему вполне своевременно сейчас уделить некоторое внимание вопросу о передаче двух программ.

Простейшее решение

Несомненно наиболее простым решением этой задачи являлось бы то, которое при минимальных затратах позволило бы на местах приспособить существующие трансляционные узлы для двух программ передачи. Второй комплект приборов для этой цели явно нецелесообразен. Следует найти другие, более приемлемые пути приспособления уже имеющейся аппаратуры. Опыт показал, что в этом на-

правлении можно достичь определенных результатов, с которыми мы намерены познакомить читателя.

Основная схема

Принятые в нашей практике схемы трансляционных узлов обычно распадаются на 2 части. Первая содержит несколько каскадов предварительного усиления (обычно 2—3) и одной оконечной лампы для «раскачки», вторая — мощный выходной усилитель. Последний каскад обычно выполняется по пушпулльной схеме, зарекомендовавшей себя в работе с хорошей стороны. Соответственно требуемой мощности на выходе он содержит несколько ламп, включенных в параллель. Вместе с выпрямителем для питания анодов эта часть (оконечный каскад пушпулла) является наиболее ценной. Примером типовой трансляционной установки может служить усилитель ПФ—1 производства «Профрадио», схема которого приведена на рис. 1.

цепи между средней точкой выходного пушпулльного трансформатора и анодным выпрямителем или батареей (T_4 на рис. 1), то при правильной работе пушпулла передача не должна быть слышна. Однако, если включить еще дополнительный трансформатор T_3 так, как указано в этой схеме, то картина существенно изменится. Нетрудно видеть, что в отношении трансформаторов T_3 и T_4 лампы работают уже не по схеме пушпулла, а в параллель, и схема в целом представляет собою таким образом комбинацию пушпулла с параллельным включением, причем каждая часть комбинации работает на своих трансформаторах.

Такое устройство позволяет вести одновременную передачу дуплекса с линий I и II.

Само собой разумеется, что со стороны линии II на входе потребуется дополнительный предварительный усилитель. Однако при условии общего питания таких усилителей для I и II линий и между-

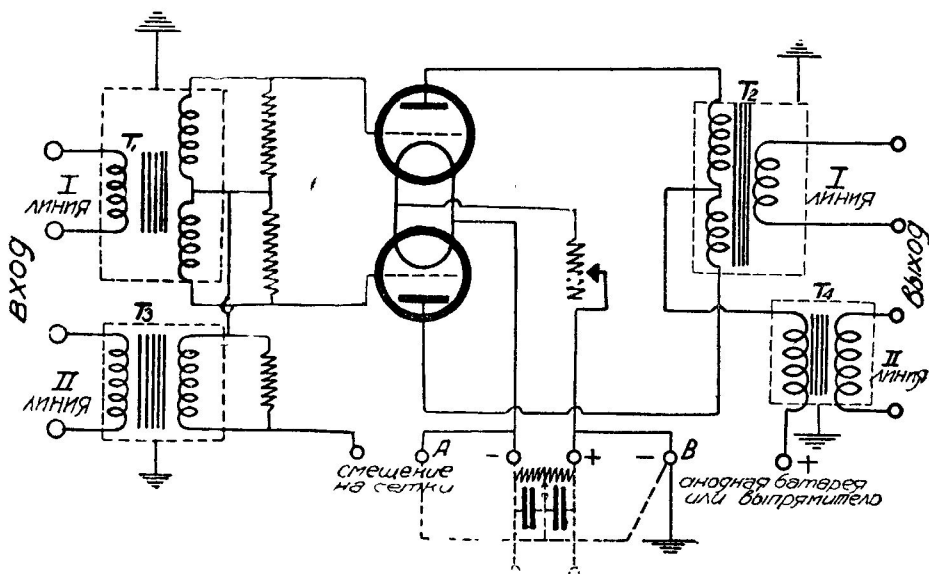


Рис. 1

Дуплекс на «пуш-пулле»

Приспособить мощный выходной каскад пушпулла для одновременной двойной передачи («дуплекс») оказывается весьма нетрудно. Исходной предпосылкой к этому является тот факт, что при правильном подборе ламп в ветвях пушпулла (это необходимо для хорошей его работы) переменная слагающая анодного тока в двух ветвях сдвинута по фазе на 180° и в сумме равна нулю. Это значит, что если включить обычный трансформатор с двумя обмотками в участок

каскадной связи на сопротивлениях или дросселях вряд ли можно рассматривать эти дополнительные расходы обременительными.

Что может дать «дуплекс»

В первую очередь следует отметить, что наиболее целесообразно использовать пушпулльную схему с линии I для всякого рода ответственных музыкальных передач. Схема параллельного соединения, при которой все лампы работают как одна мощная, даст несомненно примерно удвоенную мощность на выходе и хорошо по-

тельно недавно, когда акустика овладела наконец современными методами исследования, — однако же особенности, которыми они как со стороны больших, так и со стороны малых частот отличаются от звуков слышимых, заставляют думать, что за этими практическими приложениями дело не станет, и это новое своеобразное орудие техники скоро найдет себе применение.