

А. А. ХАРКЕВИЧ

Настоящая статья представляет собою попытку «ликвидации неграмотности» в вопросе об устройстве и работе адаптеров и сообщении необходимого минимума технических понятий всякому любителю, пользующемуся адаптером.

Назначение адаптера

Прямое назначение адаптера состоит в преобразовании механических колебаний конца иглы, следующего за извилинами записи на граммофонной пластинке, в соответственные колебания электрического напряжения, подаваемого на вход усилителя звуковой частоты.

В настоящее время применяются исключительно электромагнитные адаптеры.

Общая идея устройства этих приборов заключается в следующем: железный якорь, снабженный специальным иглодержателем, в котором укрепляется игла, приводится иглой в колебательное движение. Якорь находится между полюсными наконечниками магнита, на которых насажены катушки с обмоткой. Расположение якоря относительно полюсных наконечников таково, что при его движении изменяется пронизывающий катушки магнитный поток. В результате этих изменений в катушках наводится электродвижущая сила, пропорциональная изменению потока. А так как в большинстве правильно сконструированных звукоснимателей изменение величины магнитного потока пропорционально перемещению якоря, то следовательно *э.д.с.* будет пропорциональна перемещению якоря ¹.

Простейшая система изображена на рис. 1. В этой системе якорь 1 укреплен на одном конце рычажка 2, вращающегося на оси 3. На другом конце рычажка укреплена игла 4. Направление движения иглы показано на чертеже стрелкой. Соответственно движется и другой конец рычажка 2, а с ним и якорь 1, расположенный перед полюсными наконечниками 5 с насаженными на них катушками 6. Магнитный поток, создаваемый магнитом 7, замыкается через наконечники 5 и якорь 1, проходя через воздушные промежутки между якорем и полюсными наконечниками. Очевидно, что при дви-

жении якоря величина воздушных промежутков будет изменяться; соответственно будет изменяться и сопротивление магнитной цепи. Вследствие этого соответственные изменения получат и магнитный поток, проходящий по магнитной цепи. Но так как этот же магнитный поток пронизывает и катушки, то в последних наведется соответственная же *э.д.с.*

Эта система имеет целый ряд недостатков. Во-первых, якорь все время притягивается наконечниками. Для того чтобы он не прилипал к ним, приходится очень упруго закреплять рычаг, что, как мы увидим из дальнейшего, вредно. Во-вторых, магнитная цепь не рациональна, так как переменная составляющая магнитного потока вынуждена замыкаться через постоянный магнит, представляющий большое сопротивление.

За последнее время в подавляющем большинстве конструкций применяется дифференциальная система, схематически изображенная на рис. 2.

В этой системе железный якорь 1 вращается вокруг некоторой оси между двумя П-образными полюсными наконечниками 2, прижатыми к магниту 3. Игла 4 вставляется в иглодержатель

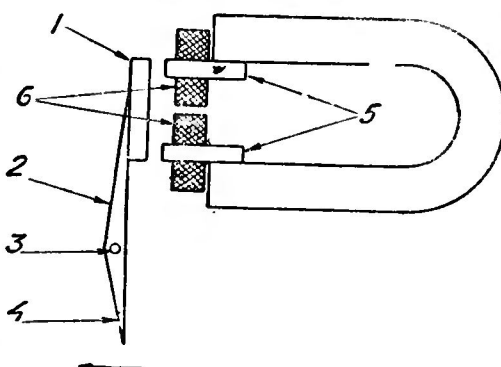


Рис 1

на одном из концов якоря. Катушка 5 охватывает якорь и заключена между полюсными наконечниками. Само собою разумеется, что катушка неподвижна и что отверстие ее гильзы достаточно велико, чтобы не препятствовать сво-

¹ Строго говоря, *э.д.с.* пропорциональна не только перемещению, но и частоте, с которой это перемещение совершается. Пока мы однако ограничимся сказанным, так как для получения общих представлений этого достаточно.

бодному движению якоря. Действие такой системы выясняется из рис. 3.

Когда якорь находится в среднем положении, обе ветви полюсных наконечников представляют

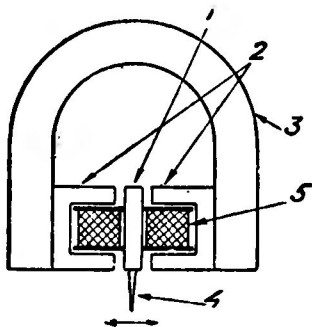


Рис. 2

собой одинаковые сопротивления для магнитного потока, который и делится между ними поровну (а). При этом по якорю никакого потока вообще не проходит. Если якорь поворачивается например против часовой стрелки (б), то левый верхний и правый нижний воздушные зазоры уменьшаются, а два другие зазора увеличиваются. Поэтому поток идет преимущественно по пути, указанному на рис. 3-б стрелкой, проходя вдоль якоря сверху вниз. При повороте якоря в другую сторону зазоры изменяются таким образом, что по якорю течет поток снизу вверх (рис. 3-в).

Таким образом при движении якоря по нему протекает переменный магнитный поток. Но так

недостатка простейшей системы; кроме того такая конструкция очень компактна и хорошо оформляется технически.

Для лучшего выяснения описанного действия системы можно воспользоваться некоторой аналогией, существующей между магнитными и электрическими цепями, и представить данную систему в виде моста Уитстона (рис. 4).

На схеме под источником тока подразумевается магнит; четыре плеча моста соответствуют четырем воздушным зазорам; диагональ моста есть не что иное, как якорь. Положения а, б и в соответствуют тем же положениям на рис. 3. Что будет происходить в мосте, конечно не требует пояснений.

Частотная характеристика адаптера

Что вообще следует понимать под частотной характеристикой адаптера? Вообще конечно для адаптера важной является зависимость развиваемого им напряжения от частоты. Но мы уже установили, что при прочих равных условиях величина эдс, а следовательно и напряжения, пропорциональна перемещению якоря. С другой стороны, очевидно, что якорь приводит в колебательное движение иглой, а последняя в свою очередь приводит в принудительное колебательное движение записью на пластинке. Так как иглолка получает принудительное и вполне определенное перемещение, равное отклонению бороздки записи от средней линии, то, казалось бы, вообще не может быть речи ни о какой частотной зависимости: если запись сделана надлежащим образом, то надлежащие перемещения получит конец иглы, а с нею и якорь.

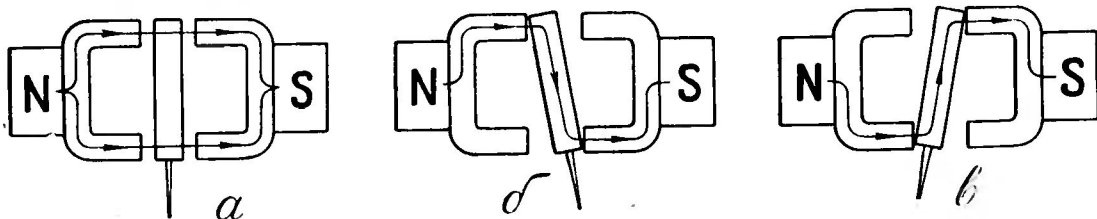


Рис. 3

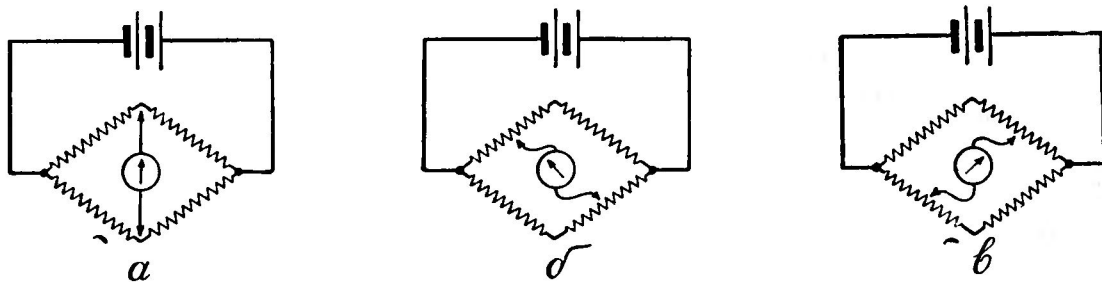


Рис. 4

как якорь охвачен катушкой, то протекающий по нему поток пронизывает катушку, вследствие чего в ней наводится эдс. Легко видеть, что в этой системе отсутствуют оба вышеуказанные

С эдс и тем более все будет обстоять благополучно.

Это было бы верно только в идеальном случае. Рассмотрим действительные соотношения.

Верхний резонанс

Перемещение якоря только в том случае строго соответствовало бы перемещению конца иглы, если бы конец иглы был *абсолютно жестко* соединен с якорем. На самом деле удлиненное тело иглы представляет собою некоторую, способную изгибаться, пружину. На рис. 5 в сильно увеличенном виде изображено перемещение якоря, происходящее вследствие отклонения конца иглы. Из-за изгиба иглы якорь поворачивается на меньший угол (*a*), чем в том случае, если бы игла была идеально жесткой (*b*). Сила, удерживающая якорь в первоначальном положении, есть не что иное, как сила инерции. Эта сила препятствует перемещению якоря и вызывает прогиб иглы. Если бы якорь был невесом, то сила инерции отсутствовала и игла не изгибалась бы. Иначе говоря, дело обстоит бы так же, как и в случае абсолютно жесткой иглы. На практике якорь весом, а игла гибка.

Поэтому, вообще говоря, перемещение якоря может быть и меньше, и больше того, которое имелось бы в двух указанных идеальных случаях. При этом, что для нас самое существенное, при определенных перемещениях конца иглы перемещение якоря *зависит от частоты*. Эта зависимость легко может быть выведена математически, а еще легче при пользовании так называемым методом электромеханических аналогий. Мы попытаемся однако пояснить происходящие явления более наглядным способом.

Представим себе, что на некоторой пружине подвешен груз. Держа второй конец пружины в руке, будем двигать его вверх и вниз на одинаковое расстояние, но постепенно ускоряя движение (рис. 6). Пока движение происходит медленно, пружина совсем не растягивается, и груз совершает такое же перемещение, как и рука. Когда движение очень быстро, груз остается практически неподвижным; движение руки растягивает пружину. Это происходит потому, что при медленном движении *ускорение* груза мало; мала и сила инерции, равная произведению ускорения на массу груза.

Ничто не противодействует движению второго конца пружины, поэтому пружина и двигается целиком, не растягиваясь, и ведет себя как твердое тело. Наоборот, при быстром движении сила инерции велика, она-то и удерживает груз на месте, растягивая пружину.

Самое замечательное и важное для нас обстоятельство заключается в том, что при некоторой определенной скорости движения (частоте колебаний) размах колебаний груза делается много больше, чем размах движения руки. Это явление наблюдается при той частоте, с которой груз колебался бы, будучи предоставлен самому себе при закреплении свободного конца пружины. Описанное явление есть не что иное, как *механический резонанс*, происходящий тогда, когда частота вынужденных колебаний совпадает с частотой свободных колебаний, или, короче говоря, с собственной частотой системы, составленной из груза и пружины.

Итак, при частотах ниже собственной амплитуда колебаний груза равна амплитуде колебаний того конца пружины, который мы приводим в движение. При частотах выше собственной амплитуда колебаний груза убывает и с повыше-

нием частоты стремится к нулю. На собственной частоте амплитуда груза делается очень большой. Все сказанное представлено графически на рис. 7, на котором амплитуда колебаний груза отложена по вертикальной оси, а частота — по горизонтальной.

Описанная система представляет собою несколько видоизмененную механическую модель пластинки, иглы и якоря. Рука, приводящая в движение конец пружины, изображает пластинку; пружина представляет собою иглу; груз играет роль якоря. Не следует смущаться тем, что вращательное движение заменено поступательным: картина явлений от этого несколько не меняется по существу.

Если мы будем рассматривать только иглу и якорь, то кривая рис. 7 представляет собою

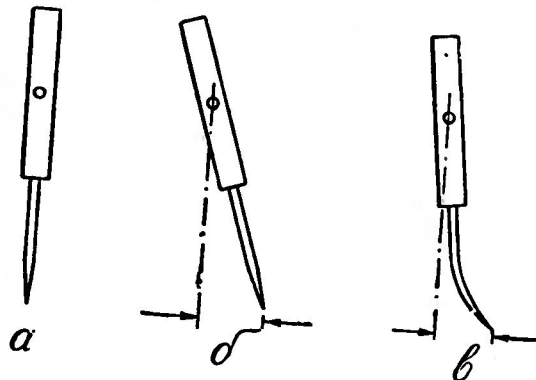


Рис. 5

не что иное, как частотную характеристику адаптера: ведь она показывает, как меняется амплитуда движения якоря в зависимости от частоты, а эта пропорциональна этой амплитуде.

Таким образом мы приходим к следующему заключению: до резонанса с характеристикой все обстоит благополучно, на резонансной частоте имеется резкий подъем, после резонанса характеристика быстро падает.

Как улучшить частотную характеристику? Это можно сделать одновременно: 1) повышая собственную частоту, 2) вводя достаточное затухание, для того чтобы резонансный пик был не слишком сильно выражен. На рис. 8 пунктирная прямая представляет идеальную характеристику; кривые *a* показывают, как меняется характеристика с увеличением собственной частоты; кривые *b* иллюстрируют влияние увеличения затухания.

Как повысить собственную частоту? Собственная частота якоря с иглой зависит от двух величин: массы якоря и гибкости иглы. Количественное значение собственной частоты в случае механических колебаний определяется по той же формуле Томсона, как и в случае электрических колебаний:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{MC}}$$

В этой формуле под корнем вместо самоиндукции и емкости стоят величины *M* и *C*, обозначающие массу и гибкость. В рассматриваемом

мом случае M есть масса якоря, C — гибкость иглы. Последняя величина зависит конечно от свойств иглы, а потому при конструировании адаптера приходится считать эту величину заданной. Остается следовательно только масса



Рис. 6

якоря. Итак, для повышения собственной частоты иглы с якорем, которую мы назовем частотой *верхнего* резонанса, следует уменьшать массу якоря².

Как увеличить затухание? Для этой цели в конструкции вводятся всегда специальные резиновые демпферы, назначение которых и заключается во внесении требуемого затухания. Требуемую величину затухания приходится подбирать, изменяя величину и расположение демпферов и сорт резины.

Сделаем общие заключения:

1. Верхняя граница воспроизводимого адаптером диапазона частот определяется собственной частотой якоря с иглой или частотой *верхнего* резонанса.
2. Повышение частоты *верхнего* резонанса может быть достигнуто за счет облегчения якоря.
3. Сглаживание резонансного пика может быть достигнуто надлежащим демпфированием якоря.

Нижний резонанс

Игла, перемещаясь по спиральному ходу бороздки записки на пластинке от периферии к центру, ведет за собой весь механизм адаптера. Если бы якорь мог двигаться сам по себе, независимо от всего механизма, то последний бы остался на месте, в то время как якорь последовал бы за иглой. С другой стороны, необходимо обеспечить возможность колебательного движения якоря относительно механизма, так как если бы якорь не мог двигаться, то не было бы изменений потока, а следовательно и *эдс*. Имея все это в виду, якорь закрепляется в механизме *второго*. Упругость закрепления якоря должна быть достаточной, для того чтобы якорь, дви-

гаясь вместе с иглой, тащил за собой весь механизм.

Теперь постараемся выяснить, как наличие упругого закрепления якоря влияет на частотную характеристику прибора.

Для этого рассмотрим механическую модель системы, совершенно аналогичную изображенной на рис. 6. Предположим, что мы взяли два груза, один маленький, другой большой, и соединили их пружиной. Маленький груз изображает собою массу якоря, большой — массу всего механизма адаптера. Пружина представляет собою упругую связь между ними — упругое закрепление якоря.

Теперь подчеркнем очень важное соображение, уже упомянутое вскользь. Дело в том, что нас интересует не абсолютное движение якоря, а движение его *относительно* механизма. Если мы представим себе, что якорь совершает колебательное движение, но что механизм при этом совершает точно такое же движение, перемещаясь вместе с якорем, то якорь *относительно механизма неподвижен*. Таким образом зазоры между якорем и полюсными наконечниками остаются неизменными, и никакой *эдс* прибор не будет развивать. Вернемся теперь к нашей модели. Возьмем меньший груз, изображающий якорь, в руку и будем двигать его вверх и вниз, так же как было описано выше (рис. 9). Мы установим на опыте те же самые явления: предположим, что мы начали с быстрых колебаний. При этом большой груз остается неподвижным, перемещение малого груза вызывает соответствующие растяжения и сжатия пружины. Замедляя движение, мы достигнем механического резонанса, при котором размах (амплитуда) колебаний большого груза будет значительно больше амплитуды колебаний меньшего груза. Наконец при очень медленном движении пружина не будет вовсе растягиваться и оба груза будут двигаться совершенно одинаково. Остается перенести результаты этих наблюдений на адаптер. Наш опыт показывает, что при высо-

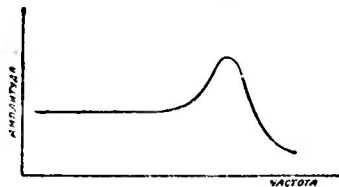


Рис. 7

ких частотах инерция механизма велика, а потому он не участвует в колебательном движении и остается практически неподвижным (если не считать его перемещения по пластинке).

Поэтому якорь при своем колебательном движении перемещается относительно практически неподвижного механизма, что вызывает соответственные изменения потока и появление *эдс*. При резонансе, который мы назовем *нижним*, потому что он происходит при низких частотах, относительное перемещение якоря и механизма делается очень большим, за счет сильных колебаний механизма. При частотах ниже резонанса механизм начинает двигаться вместе с якорем, так что относительное перемещение якоря и полюсных наконечников убывает с частотой. Со-

² Строго говоря, поскольку якорь совершает вращательное движение, речь идет не о действительной массе якоря, а о некоторой эквивалентной величине, зависящей от момента инерции.

ответственно убывает и *э.д.с.* Таким образом мы видим, что с характеристикой при *понижении* частоты все обстоит хорошо *до нижнего резонанса*. При резонансе наблюдается максимум *э.д.с.* ниже резонанса *э.д.с.* падает. Отсюда непосредственно вытекает вывод, что для улучшения характеристики в отношении воспроизведения низких частот следует стремиться к тому, чтобы сдвинуть частоту нижнего резонанса как можно ниже. Частота нижнего резонанса зависит от гибкости и массы и определяется по той же механической формуле Томсона, как и верхний резонанс. Только под массой и гибкостью в данном случае нужно подразумевать массу всего механизма адаптера и гибкость закрепления якоря (под гибкостью подразумевается величина, обратная упругости; величина гибкости обозначает величину деформации на единицу приложенной силы; величина упругости, наоборот, есть сила на единицу деформации).

Что же практически нужно сделать для понижения частоты нижнего резонанса?

Как следует из формулы Томсона, нужно увеличивать массу и гибкость. Как далеко можно идти в этих двух направлениях?

Массу адаптера нельзя увеличивать чрезмерно, так как он будет очень сильно давить на грамофонную пластинку. Масса нормального адаптера порядка 150—180 грамм. Любопытно заметить, что *давление* иглы на пластинку при этом получается около 3000 атмосфер или 3 тонны на $см^2$. При применении более тяжелых адаптеров их приходится снабжать противовесами. Что касается гибкости закрепления якоря, то ее нельзя сделать слишком большой, так как тогда якорь будет выходить из нормального положения, заставляя механизм перемещаться по пластинке, как уже указано выше. Кроме того при очень большой гибкости закрепления может наблюдаться прилипание якоря к полюсным наконечникам.

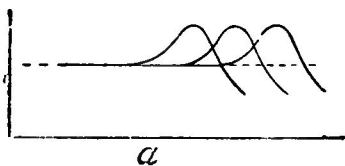


Рис. 9 (а и б)

тера, разработанного Центральной радиолaborаторией ВЭСО.

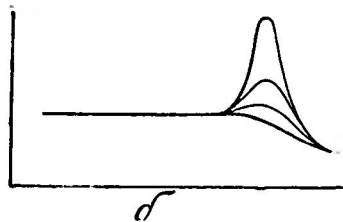
Еще одно замечание: всякий легко может удостовериться в том, что адаптер не будет давать никакого напряжения при очень низких частотах даже при очень больших амплитудах конца иглы. Возьмите адаптер и обоприте его концом иглы на палец. После этого двигайте палец вправо и влево. Игла может иметь амплитуду хоть полметра — само собою разумеется, что механизм будет двигаться вместе с нею, а потому эффекта от такого движения не будет никакого.

Износ пластинок

Отклонения иглы адаптера происходят потому, что игла находится в бороздке записи. Бороздка имеет волнообразную форму в соответствии с записанным звуком и отклоняется в обе стороны от того положения, которое она имела бы при отсутствии звука. Таким образом бороздка, отклоняясь в какую-либо сторону, нажимает боковой своей стенкой на иглу и заставляет последнюю совершать колебания, соответствующие тем, которые были записаны. На рис. 10 в плане в сильно увеличенном схематическом виде изображены одна бороздка записи и конец иглы. Бороздка имеет треугольное сечение, а потому в плане изображена тремя линиями.

На чертеже показаны три различных положения иглы относительно бороздки. Бороздка имеет продольное движение в направлении, указанном стрелкой. Вследствие извилистой формы бороздки игла получает поперечное движение, также показанное стрелками.

При таком движении игла может в различной мере оказывать сопротивление своему поперечному перемещению. Усилие, которое должна развить боковая стенка бороздки, очевидно, зависит от этого сопротивления. Предположим например, что игла закреплена намертво, так



Что касается величины пика при нижнем резонансе, то она зависит от затухания, так же как и пик верхнего резонанса. Наличие резиновых демпферов смягчает оба резонанса.

Сделаем выводы:

4. *Нижняя граница воспроизводимого адаптером диапазона частот определяется частотой нижнего резонанса.*

5. *Понижение частоты нижнего резонанса достигается увеличением массы механизма, которая в обычных конструкциях, без противовеса, не должна однако превышать 180 грамм, и увеличением гибкости закрепления якоря.*

Таким образом характеристика адаптера определяется двумя резонансами. На рис. 11 изображена типичная характеристика хорошего адап-

что она вообще не может двигаться. Предположим кроме того, что грамофонная пластинка приводится во вращение достаточно мощным мотором. Что должно произойти? Игла входит концом в бороздку, но двигаться не может; бороздка стремится ее отклонить; мощный мотор нажимает все с большей силой, в результате стенка бороздки неминуемо должна разрушиться.

Именно такого рода разрушения и наблюдаются на игранных пластинках. Эти разрушения происходят однако не сразу, а постепенно. Но они происходят тем скорее, чем больше сопротивление, оказываемое иглой ее перемещением. Сопротивление иглы зависит, очевидно, от устойчивости адаптера. Наша задача и заключается в

том, чтобы выявить, отчего зависит сопротивление иглы, и следовательно и износ пластинок, и какие меры нужно принять для уменьшения того и другого.

На низких и на высоких частотах сопротивление иглы — будем называть его механическим сопротивлением адаптера — зависит от разных

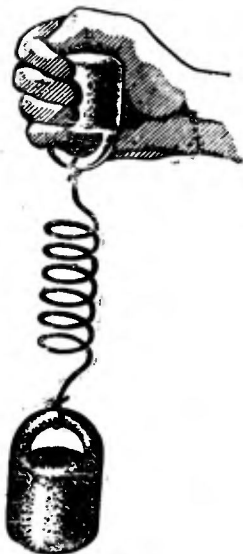


Рис. 9

величин. Займемся сперва высокими частотами. Возвращаясь к нашей модели, изображенной на рис. 6, вспомним, что на высоких частотах якорь остается практически неподвижным, а конец иглы перемещается только за счет изгиба иглы — на нашей модели свободный конец пружины двигается за счет растяжения пружины, тогда как второй, на котором подвешен груз, остается неподвижным. Это значит, что на высоких частотах механическое сопротивление адаптера зависит исключительно от упругости иглы, так как дело обстоит совершенно так же, как если бы укрепленный в якорь конец ее был заделан наглухо. А так как упругость иглы от нас не зависит, то делать здесь нечего. Впрочем можно показать, что на высоких частотах износ пластинок незначителен. Это будет видно из дальнейшего.

Совсем иная картина на низких частотах. Пренебрегая упругостью иглы, которая гораздо больше упругости закрепления якоря, т. е., иначе говоря, считая иглу совершенно жесткой, получим модель, изображенную на рис. 9. Инерция якоря (малого груза, зажатого в руке) на низких частотах может также не приниматься во внимание. Остается таким образом упругость закрепления якоря (пружина на рис. 9).

Если механизм адаптера настолько тяжел, что его можно считать и при низких частотах практически неподвижным, то мы видим, что при всех принятых упрощениях механическое сопротивление адаптера приводится к упругому сопротивлению закрепления якоря.

Сделаем еще несколько дополнительных замечаний. Сила, которую нужно приложить, чтобы растянуть пружину на некоторый отрезок, пропорциональна величине этого отрезка. Так же

обстоит дело и при сжатии, при изгибе и вообще при всякой упругой деформации. Итак, усилие пропорционально деформации и, наоборот, деформация пропорциональна усилию. Это положение есть не что иное, как один из основных законов технической механики: закон Гука. Следовательно чем больше отклонение иглы, тем больше упругое противодействие закрепления якоря и тем больше следовательно усилие, которое нужно приложить к концу иглы.

Все эти соображения нужно было привести вот почему: грамофонная запись обладает тем свойством, что на низких частотах отклонения бороздки записи больше, чем на высоких. Запись делается таким образом, что при равной силе звука амплитуда записи обратно пропорциональна частоте. Так например, при частоте 200 периодов наибольшая амплитуда записи 50 микрон или 0,05 мм, а при частоте 4000 периодов, т. е. в 20 раз большей, амплитуда записи будет в 20 раз меньше, т. е. 2,5 микрона или 0,0025 мм.

Теперь делается ясным, почему на высоких частотах износ пластинок незначителен, а на низких, наоборот, очень заметен: усилие, действующее на боковую стенку бороздки, пропорционально упругости, с одной стороны, и отклонению иглы — с другой. Чем ниже частота, тем больше отклонение (таким свойством обладает запись) и тем больше следовательно усилие.

Сделаем заключение:

6. Износ пластинок зависит от величины механического сопротивления адаптера.

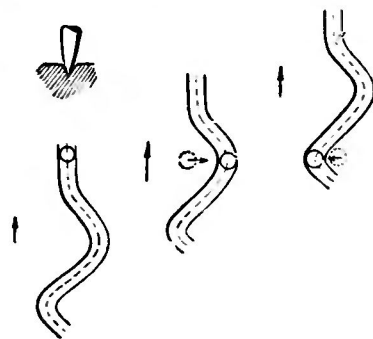


Рис. 10

7. Механическое сопротивление адаптера на высоких частотах зависит от упругости иглы, а на низких частотах от упругости закрепления якоря.

8. Износ пластинок проявляется преимущественно на низких частотах, на которых амплитуда записи велика.

9. Уменьшение механического сопротивления адаптера на низких частотах, а следовательно и уменьшение износа пластинок может быть достигнуто за счет уменьшения упругости закрепления якоря.

Закрепление якоря в обычных конструкциях выполняется помощью тех же самых резиновых демпферов, которые служат для внесения в систему нужного затухания. Эти демпферы, как следует из вышесказанного, должны быть очень мягкими. Доброкачественный в этом отношении

адаптер легко отличить от плохого, покачивая пальцем пилу: она должна свободно и мягко двигаться вместе с якорем.

Заметим, что адаптер с очень жестко закрепленным якорем не только портит пластинки, но и плохо воспроизводит низкие частоты.

Чувствительность адаптера

Под чувствительностью можно понимать отношение ЭДС адаптера к перемещению конца иглы.

Приведем без доказательства следующее положение:

10. Чувствительность адаптера тем больше, чем:

- а) больше поток постоянного магнита,
- б) меньше воздушные зазоры,
- в) больше число витков на катушке (или катушках).

По поводу этого положения нужно сделать некоторые оговорки.

Током представляется не прямой линией, а некоторой кривой (при приближении якоря к полюсным наконечникам магнитный поток возрастает очень быстро). Искажения, которые при этом получаются, по своей природе совершенно аналогичны тем, которые происходят вследствие кривизны характеристики лампы. Из этих соображений зазоры делают довольно большими. Что касается числа витков, то его нужно тоже увеличивать не чрезмерно. С увеличением числа витков быстро растет самоиндукция обмотки, а следовательно и индуктивное сопротивление ее. Но так как обычно адаптер замыкается на потенциометр, служащий для регулировки силы звука, то вся ЭДС делится на две части: одна из них представляет собою падение напряжения на внутреннем сопротивлении адаптера, а вторая — падение напряжения на потенциометре. Эта вторая часть — напряжение на потенциометре — и есть та часть ЭДС, которую мы фактически используем. Но если принять во внимание, что ЭДС увеличивается пропорционально числу витков, а внутреннее сопротивление

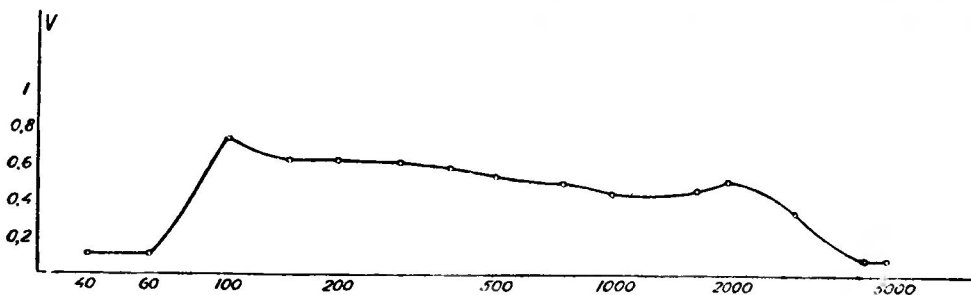


Рис. 11

увеличить магнит можно только в пределах нормального веса адаптера, если речь идет не о специальной конструкции с противовесом. При применении очень больших магнитов надо позаботиться о том, чтобы сечение сердечников было достаточным, иначе они будут насыщены и чувствительность уменьшится. Делать зазоры очень маленькими не рекомендуется. Во-первых, тогда по необходимости придется делать закрепление якоря очень упругим, иначе он прилипнет к полюсным наконечникам. Во-вторых, при малых зазорах получаются довольно большие искажения. Дело в том, что магнитный поток изменяется не пропорционально перемещению якоря; графически это означает, что зависимость между перемещением якоря и по-

тене — пропорционально квадрату числа витков, то, очевидно, значительное увеличение числа витков может стать совершенно невыгодным. Кроме того адаптер с большим числом витков очень восприимчив ко всякого рода внешним воздействиям, как например поле переменного тока, искрение мотора и т. п.

В настоящей статье сделан ряд упрощений и допущен ряд неточностей, которые могут быть оправданы только целью сделать предлагаемый материал общедоступным.

Интересующихся вопросом об адаптерах более серьезно автор отсылает к своей статье в «Журнале технической физики».

