ИЗВЕСТИЯ
ТОМСКОГО ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ И ОРДЕНА
ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО
ИНСТИТУТА имени С. М. КИРОВА

Том 235 1973

УСТАНОВКА ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВИБРАТОРОВ И НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТОВ

Ю. Я. КОВЫЛИН

Для проверки результатов теоретических исследований электромагнитных вибраторов, изложенных в работах [1—5], нами была создана экспериментальная установка. Общий вид ее показан на рис. 1.

Стандартный звуковой генератор 1 типа ГЗ-2, являясь источником переменного электрического напряжения калиброванных частот, служит задающим генератором. Его выход соединяется со входом оригинального высококачественного усилителя *2* с неискаженной мощностью до 0,5 *квт*.

Выходная ступень усилителя выполнена по двухтактной схеме. В каждом ее плече работает по две лампы типа ГМ-70. В цепях управляющих и экранирующих сеток выходных ламп содержатся переключаемые *RC* цепочки. Это позволяет в широких пределах регулировать форму кривой электрического напряжения на выходе усилителя, которую можно наблюдать визуально на экране лучевого осциллографа *3*, например, типа СИ-1.

Для питания анодов и экранирующих сеток выходных ламп служат два универсальных источника питания 4 типа УИП-1, выход которых соединен последовательно. При нагрузке до 0,2 *квт* возможна работа от одного УИП-1. Цепи накала всех ламп усилителя мощности питаются постоянным током от автономного стабилизированного источника питания, размещенного на общем шасси с усилителем. Это позволяет устранить составляющую 50 *гц* на выходе усилителя, мешающую при испытаниях вибраторов, имеющих собственную частоту колебаний упругой системы около 50 *гц* (вибраторы с такой настройкой имеют в настоящее время в приборо- и машиностроении широкое применение).

Величина накального напряжения контролируется вольтметром, установленным в средней части передней панели усилителя. Слева и справа от него на той же панели установлены вольтметр и амперметр, служащие для глубокого контроля за эффективными значениями напряжения на выходных зажимах усилителя и силой тока, потребляемой обмотками испытуемого электромагнитного вибратора. Более точное измерение указанных электрических величин осуществляется с помощью астатических многопредельных вольтметра и амперметра *5* и *6*.

Экспериментальный электромагнитный вибратор *7* отдельно показан на рис. 2. Он состоит из электромагнита *1*, выполненного на Ш-образном сердечнике, собранном из лакированных пластин УШ-32 качественной электротехнической стали. Катушка магнита — сменная. Это обеспечивает возможность проведения опытов при различных числах витков и диаметрах сечения обмоточного провода.

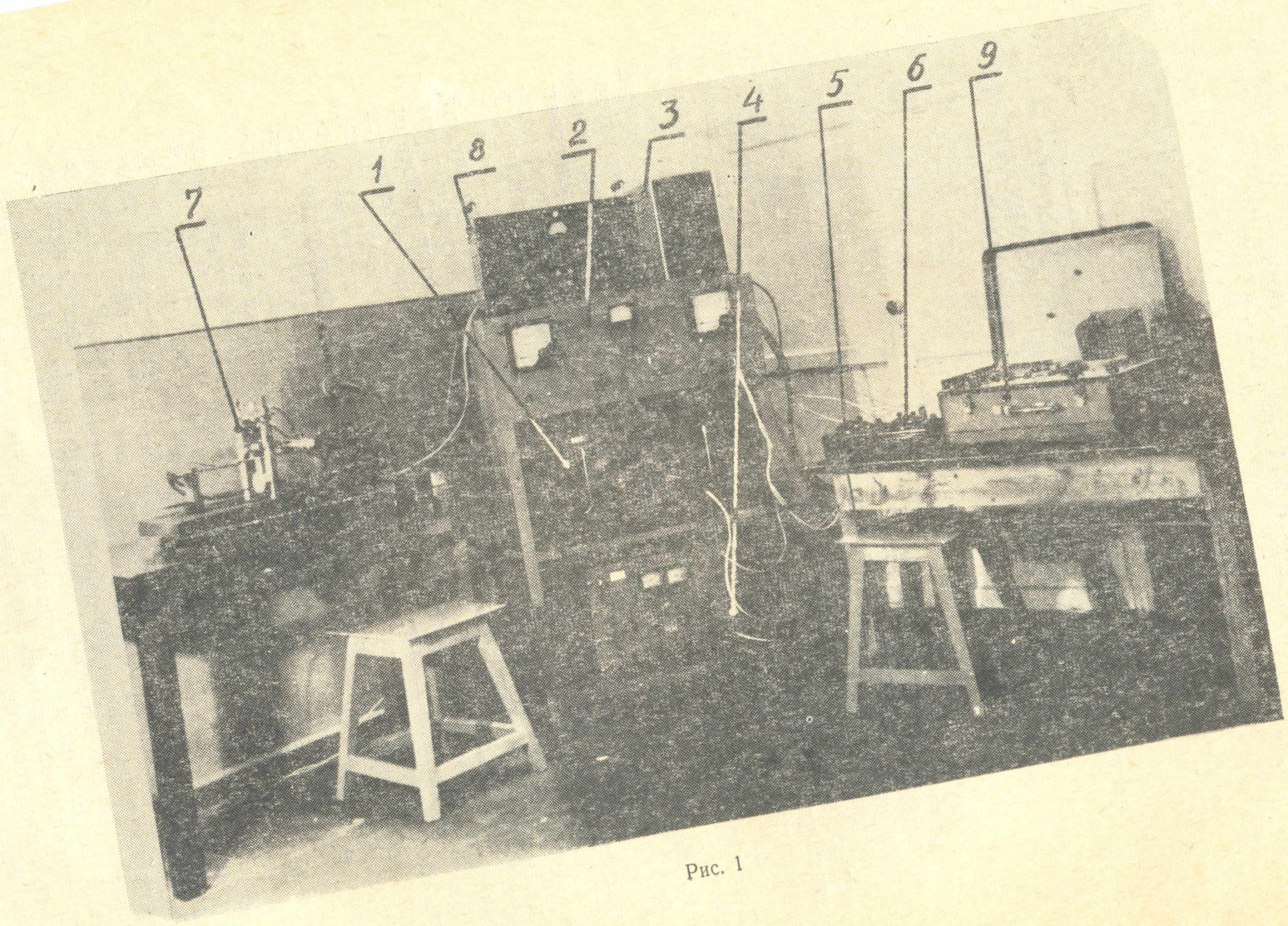

Рис. 1

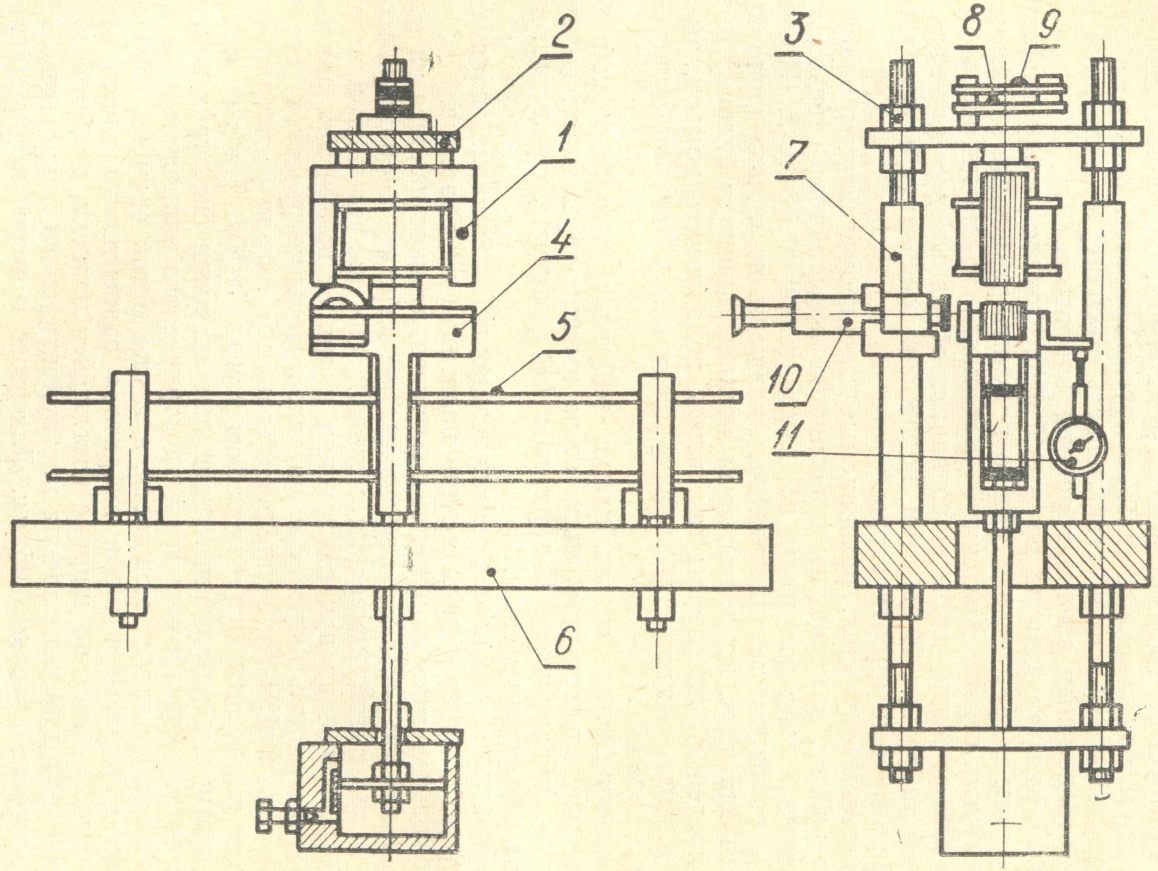

Рис. 2.

Электромагнит подвешен к стальной измерительной балке *2*, концы которой зажаты между торцами гаек *3*. С помощью этих же гаек регулируется величина воздушного зазора между электромагнитом и якорем *4*. Последний представляет собой набор прямоугольных лакированных пластин, изготовленных также из той же стали, что и сердечник электромагнита, и закрепленных в рамке, жестко связанной с двумя пластинчатыми пружинами *5*. Концы этих пружин защемлены в вертикальных стойках, закрепленных на том же массивном чугунном основании *6*, что и колонны *7*, несущие измерительную балку *2*. Якорь снабжен регулируемым гидравлическим демпфером, благодаря чему имеется возможность моделировать силы неупругих сопротивлений в вибраторе и обеспечивается бóльшая стабильность амплитуд колебаний якоря в околорезонансных режимах работы вибратора.

Толщина пластинчатых пружин *5* и расстояние между стойками может изменяться. Тем самым можно получить различные значения жесткости упругих связей. Колонны *7* выполнены из магнитонепроводящей нержавеющей стали, чтобы не возникали обходные пути для магнитного потока в вибраторе. В рабочем положении основание *6* опирается на мягкие резиновые амортизаторы.

Мгновенные усилия, развиваемые электромагнитным вибратором при его работе, измеряются с помощью проволочных тензодатчиков, наклеенных в виде полумоста на измерительную балку *2*. Последовательно с рабочими тензодатчиками включены по одному дополнительному тензодатчику, наклеенному на компенсационную балочку *8*. Параметры последней подобраны так, чтобы подавлялись помехи, имеющие место за счет кинематического возмущения измерительной балки от вибрации основания *6*.

Высокочастотные составляющие вибрации измерительной балки, возникающие за счет резонансов ее на высших гармониках возмущающей силы, подавляются П-образным *LC* фильтром, предусмотренным в канале регистрации силы.

Паразитные резонансы компенсационной балочки подавляются демпфером 9, выполненным в виде пластинки из пластика.

Другой полумост из проволочных тензодатчиков наклеен на верхней пластинчатой пружине *5* и служит для регистрации вибрационного смещения якоря путем измерения механических напряжений в этих пружинах, возникающих при отклонении якоря от положения равновесия.

Оба полумоста включены на вход тензометрической станции *8* (рис. 1) типа 8АНЧ-7м. Усиленный станцией сигнал регистрируется на киноленте шлейфным осциллографом *9* типа Н-102. На той же пленке одновременно записываются мгновенные значения силы тока, потребляемого обмоткой электромагнита и электрического напряжения на выходных клеммах усилителя мощности, а также метки времени (500 *гц*).

Размах колебания якоря вибратора относительно электромагнита может определяться по ширине светящейся полоски, видимой на фоне отсчетной шкалы в поле зрения инструментального микроскопа 10 типа МИР-1 с ценой деления 0,05 *мм*. Для этого к якорю прикреплена пластинка из плексигласа, на боковой поверхности которой, обращенной к микроскопу, нанесена тончайшая риска, ярко светящаяся при верхнем освещении.

Индикатор часового типа *11* служит для измерения статического смещения якоря при тарировании регистрирующей аппаратуры. При работе вибратора он снимается.

Усилители тензостанции 8АНЧ-7м были укомплектованы новыми радиолампами. После этого тензостанция была подвергнута «тренировке» одновременно с испытуемым вибратором в течение 24 часов. Этого оказалось достаточно, чтобы в дальнейшем при проведении эксперимен-

тов «нули» не сползали в течение 6 часов непрерывной работы вибратора. Каждый день станция прогревалась после включения в течение 2-х часов. Таким образом, с точки зрения стабильности работы тензостанция 8АНЧ-7м (в авиационном исполнении) заслуживает самой высокой оценки. Наоборот, самой низкой оценки заслуживает шлейфный осциллограф Н-102 Ленинградского завода «Вибратор», который будучи новым, оказался совершенно непригодным для серьезного применения и потребовал большого объема ремонтно-наладочных работ прежде, чем достиг паспортных параметров.

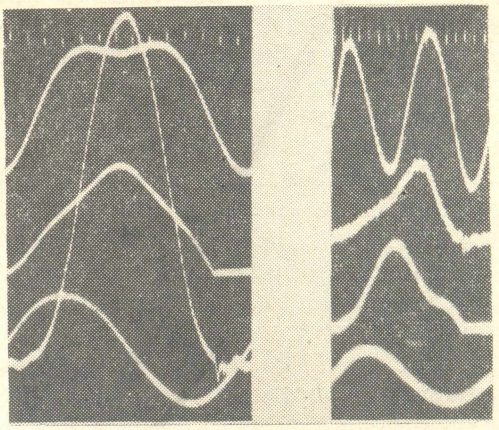

Рис. 3а

Перед проведением испытаний установка тщательно тарировалась. Посредством гирь, накладываемых на специальную стремянку, подвешиваемую к электромагниту, тарировался канал регистрации силы в делениях шкалы осциллографа Н-102. Путем затягивания гайки, навинченной на шток гидравлического демпфера, смещался якорь. Величина смещения определялась по индикатору *11* и в де-

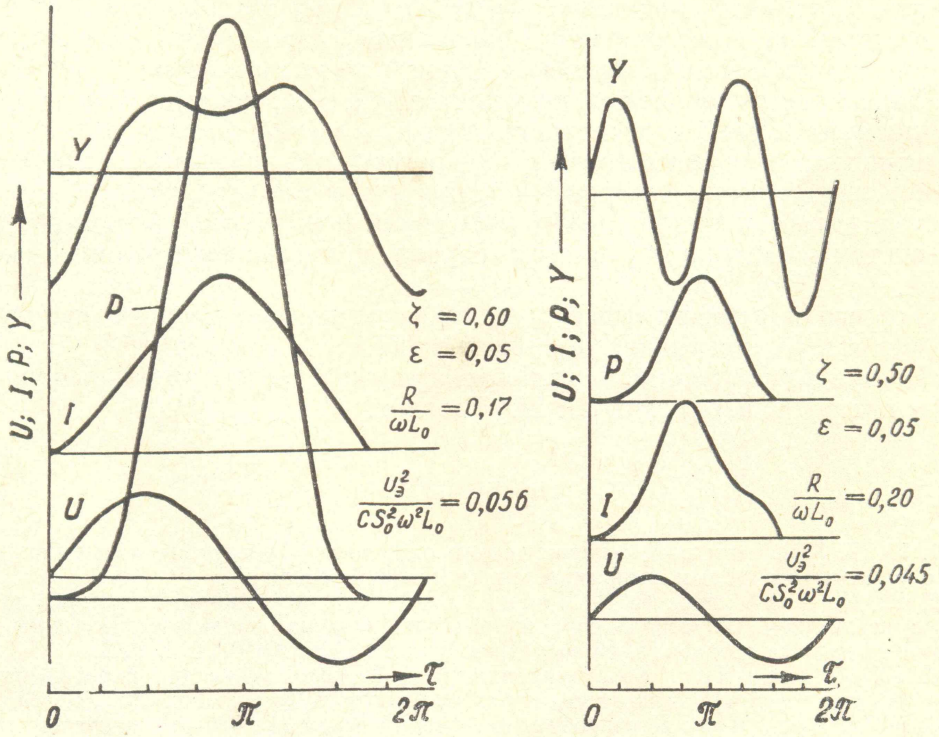

Рис. 3б

лениях шкалы осциллографа. В делениях той же шкалы оценивались значения электрического напряжения на зажимах вибратора (до выпрямителя).

При тарировке установлено, что принятые размеры пластинчатых пружин обеспечивают линейность упругой силы в пределах колебаний якоря с амплитудой до 2,5 *мм*; с превышением этого значения наблюдается лишь очень незначительная нелинейность, характерная для «жестких» пружин. Это дает возможность сопоставить результаты экспериментов с упомянутыми в начале статьи теоретическими исследованиями вибраторов, выполненными в предположении линейности характеристик механических упругих связей колебательной системы вибратора.

Эксперименты подтвердили приемлемость всех основных допущений, лежащих в основе этих работ.

На рис. 3 *а* и 3 *б* для примера показаны две осциллограммы процессов в электромагнитном вибраторе, зафиксированные экспериментально, и расчетные кривые, полученные по методу, изложенному в работе [1]. Параметры вибратора и настройки его колебательной системы, влияющие на процессы, выписаны на полях расчетных осциллограмм (в обозначениях работы [1]).

В статье [2] дается пример осциллограммы для третьего (околорезонансного) режима работы, полученный также на описанной установке и подтверждающий приемлемость изложенного там метода расчета вибратора для околорезонансных режимов.

Хорошее совпадение опытных и расчетных кривых всех основных внутренних процессов, протекающих в вибраторе, обеспечивает и хорошее согласование внешних его характеристик. Подтверждаются выводы [1], [2] и [3] о том, что при малом активном сопротивлении в цепи питания обмотки магнита от источника синусоидального напряжения как при отсутствии диода в этой цепи, так и при его наличии, амплитудно-частотные кривые вибратора имеют вид, характерный для обычной линейной колебательной системы с одной степенью свободы.

Также подтверждаются результаты [4], [5], состоящие в том, что при питании обмотки от источника тока (случай большого активного сопротивления в цепи питания обмотки магнита) максимумы амплитудно-частотных кривых смещаются влево и тем сильнее, чем больше амплитуда колебания якоря. При дорезонансных настройках колебательной системы появляется в этом случае область неустойчивых колебаний.

Хорошо подтверждаются теоретические данные по энергопотреблению вибратора, приведенные в статье [2].

В создании описанной экспериментальной установки большую помощь автору оказал студ. Л. Н. Дроздов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. Я. Ковылин. К основам теории однотактных электромагнитных вибраторов с однополупериодным выпрямителем (настоящий сборник).

2. Ю. Я. Ковылин, С. И. Басов. Взаимодействие электромагнитного вибратора с источником синусоидального напряжения. Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. Новосибирск, Изд. СО АН СССР, № 4, 1965.

3. Ю. Я. Ковылин. Колебания электромагнитного вибратора, работающего от источника синусоидального напряжения без выпрямителя. Томск, Изв. ТПИ, т. 139, 1965.

4. Ю. Я. Ковылин. К вопросу о характере амплитудно-частотных кривых электромагнитного вибратора, работающего от источника пульсирующего тока. Томск, Изв. ТПИ, т. 139. 1965.

5. Ю. Я. Ковылин. Упругие колебания ферромагнитного тела в поле одного магнита. Изв. вузов СССР, «Электромеханика». Новочеркасск, № 5, 1968.