

АСИНХРОННОЕ ВОЗБУЖДЕНИЕ НЕЗАТУХАЮЩИХ КОЛЕБАНИЙ

В теории и практике механических колебаний широко используется предположение, что колебания, поддерживаемые внешней гармонической силой, всегда происходят с частотой этой силы или кратной ей. Между тем инерционные, термические и иные эффекты, часто не учитываемые, вносят временные сдвиги между значениями действующей силы и значениями динамических функций колебаний, которые могут привести к асинхронному возбуждению незатухающих колебаний.

Эффект запаздывания, используемый с огромным успехом в СВЧ электронике, не находил себе до сих пор применения в качестве принципа работы электромеханических систем. Авторами разработан ряд устройств, в которых реализуется задаваемое определенным образом воздействие на колебания, приводящее к периодическому вкладу энергии от внешнего гармонического источника, с целью генерирования, усиления или преобразования колебаний¹. При этом колебательные процессы осуществляются на собственной частоте колебаний в затухающей системе с одной степенью

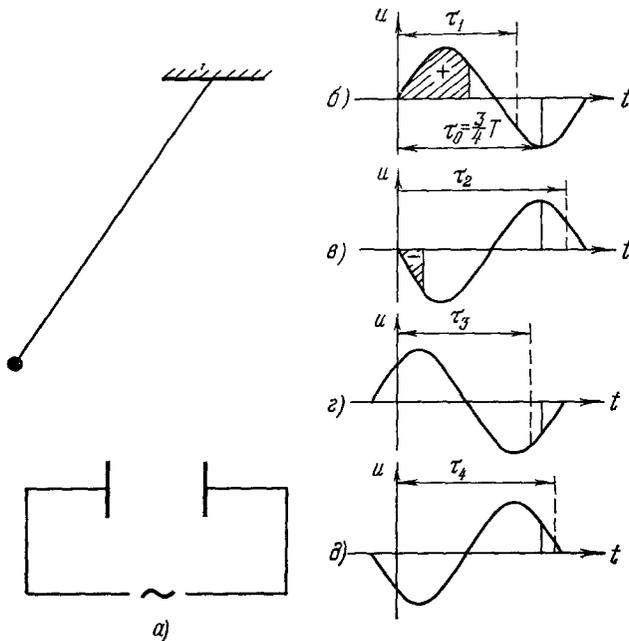


Рис. 1.

свободы, на которую действует внешняя сила, изменяющаяся по гармоническому закону с нерезонансной, не кратной, а в общем случае и несоизмеримой частотой (по сравнению с частотой собственных колебаний). Предлагаемый механизм позволяет осуществить саморегулирующийся вклад энергии, т. е. может быть использован как механизм поддержания незатухающих колебаний.

Авторы исходили из следующего мысленного опыта. Пусть колеблющийся электрический заряд пересекает на части своего пути плоский конденсатор с абсолютно проницаемыми обкладками (рис. 1, а), к которому приложено переменное напряжение (причем время пролета зарядом промежутка имеет порядок величины периода этого переменного напряжения).

Если амплитуда поля конденсаторного промежутка достигает достаточно больших значений, то при наличии легкого заряда будет иметь место изменение времени пролета. Пусть невозмущенное поле время пролета равно $\tau_0 = 3T/4$ (T — период переменного поля). При начальной фазе влета $\varphi_1 = 0$ (рис. 1, б) за начальную половину периода имеет место ускорение, а вслед затем — торможение. Поэтому реальное время пролета τ_1 окажется меньше невозмущенного времени пролета, и происходит положительный вклад энергии, пропорциональный заштрихованной площади на рис. 1, б.

При начальной фазе $\varphi_2 = \pi$ время пролета увеличивается по сравнению с $\varphi_1 = 0$, что приводит к большему торможению, т. е. к отрицательному вкладу энергии (рис. 1, в).

Сопоставление этих двух качаний приводит к выводу о результирующем положительном вкладе энергии. При несоизмеримости частот собственных колебаний заряда и переменного поля можно считать все начальные фазы влета равновероятными и проводить аналогичные рассуждения для любых других, попарно взятых, пролетов с начальными фазами φ и $\varphi + \pi$, причем имеет место преимущественный вклад энергии (рис. 1, $\varepsilon - \delta$).

Для любых фаз влета подсчет времени пролета τ_{Π} можно провести (при линейном изменении скорости) по формуле

$$\tau_{\Pi} = \frac{d}{v_0 + \Delta v_0 \cos \varphi_{\Pi}} = \frac{\tau_0}{1 + (\Delta v/v_0) \cos \varphi_{\Pi}} = \tau_0 (1 - a \cos \varphi_{\Pi}),$$

где d — длина зоны взаимодействия (ширина конденсаторного промежутка), v_0 — невозмущенная скорость пролета ($\tau_0 = d/v_0$), φ_{Π} — фаза влета. Предполагается малость $a = \Delta v/v_0$.

Можно, таким образом, утверждать, что при несоизмеримости частот колебательной системы и переменной внешней силы возможен результирующий положительный вклад энергии (в среднем за ряд колебаний) при условии, что система достаточно сильно изменяет время пролета через пространство взаимодействия.

Все приведенные выше рассуждения можно повторить для времени пролета, равного $T/4$, когда мы имеем преимущественное торможение (генераторный режим).

Понятно, что подобные взаимодействия возможны не только в рассмотренной конкретной системе, но и в любой колебательной системе с коротким пространством взаимодействия, в котором действует гармоническая сила.

Изменение времени пролета через пространство взаимодействия широко используется в электронике. При переходе же к макроскопическим массам возникают сомнения в осуществимости достаточного изменения времени пролета и соответственно в возможности использования этого изменения в качестве принципиальной основы нового класса колебаний (названных нами аргументными).

Для доказательства возможности изменения времени пролета проводника с током или заряда (электрического или магнитного) через пространство взаимодействия с переменным полем и поддержания незагужающих колебаний (практически на собственной

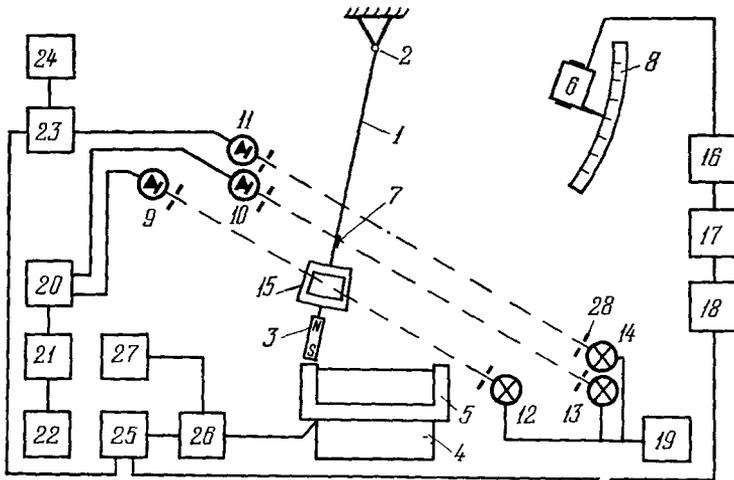


Рис. 2.

частоте) при нерезонансной частоте внешней силы была сконструирована установка, работающая в большом интервале значений времени пролета.

Блок-схема установки приведена на рис. 2. Маятник 1 в подвесе 2 может двигаться в одной плоскости. На маятнике укреплен магнит 3, взаимодействующий с катушкой 4, намотанной на ферритовом П-образном сердечнике 5. Ферритовая оправа необходима для того, чтобы в процессе изменения тока оставалось практически неизменным пространство взаимодействия. Магнитный замок 6 позволяет удерживать маятник с помощью феррита 7, прикрепленного к оси маятника. Магнитный замок с помощью силового устройства 16 (схема силового устройства приведена на рис 3—4) позволяет отпустить маятник в определенную фазу источника 25, запускающего генератор импульсов 18, задержка которого и определяет работу устройства 16.

Для более длительного удержания маятника (перед «вбрасыванием») между блоками 16 и 18 включен блок 17, схема которого приведена на том же рис. 3, вырабатывающий импульсы через каждые 100 импульсов запуска блока 18. Магнитный замок можно перемещать по измерительной линейке 8, чем обеспечивается изменение скорости влета маятника в пространство взаимодействия.

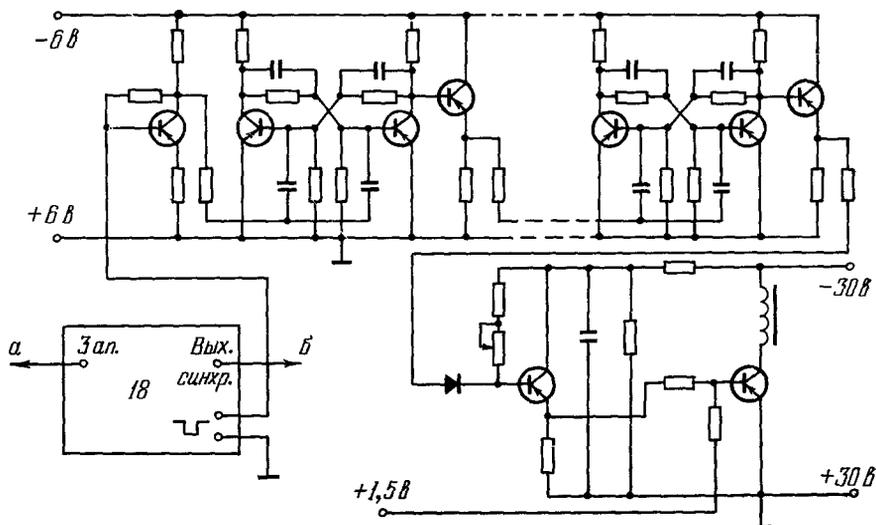


Рис. 3.

Для измерения времени пролета и фиксирования момента влета в пространство взаимодействия использованы датчики 9—11, которыми являются фотодиоды, освещаемые лампочками 12—14. Измерительная рамка 15 при своем движении пересекает луч света от источника, и с соответствующего датчика сигнал поступает на блок 20 для усиления и формирования, а затем на цифровой частотомер 21, с которого можно считывать показания.

Измерение скорости пролета и времени пролета сводится к измерению времени между импульсами, которые образуются на одном из фотодиодов при пересечении луча света краями измерительной рамки 15.

Фотодиод 9 установлен так, что край измерительной рамки пересекает луч света в момент влета в пространство взаимодействия, а второй ее край дает импульс в момент вылета из пространства взаимодействия. Таким образом, измерение времени между двумя импульсами, образованными пересечениями луча света краями рамки, однозначно определяет время пролета. С другой стороны, зная размеры рамки, можно определить скорость движения маятника.

С помощью фотодиода 10 можно измерять скорость движения маятника аналогично фотодиоду 9 на выходе из пространства взаимодействия. От фотодиода 11 образуется сигнал при пересечении луча света осью маятника, который подается на осциллограф 24 через устройство 23, коммутирующее этот сигнал с питающим напряжением. Таким образом, наряду с получением числовых данных можно визуально наблюдать фазу влета магнитного заряда в пространство взаимодействия.

Для четкой постановки эксперимента необходимо было, чтобы подвижная система имела малые потери на трение (в подшипниках) и при значительной своей длине была бы достаточно жесткой. Это необходимо для избавления от вибраций в рабочей плоскости, возникающих во время взаимодействия постоянного магнита с переменным полем катушки и отрицательно влияющих на качество эксперимента, и для избавления от вибраций в плоскости, перпендикулярной плоскости колебаний, приносящих значительные погрешности в измерениях. Так как смещения в нерабочей плоскости имели место, это потребовало определенной конфигурации поля. Кроме того, зона взаимодействия должна быть значительной, так как именно на этом пути происходит изменение скорости, а следовательно, и изменение времени взаимодействия маятника с внешней гармонической силой. Это изменение времени взаимодействия в колебательном режиме установки приводит к вкладу энергии внешней силы в колебательный процесс.

Если энергия, сообщаемая маятнику в пространстве взаимодействия, незначительна по сравнению с величиной его кинетической энергии, то изменения времени

взаимодействия в этом пространстве не произойдет. Поэтому основным условием для достаточного изменения скорости маятника под действием внешней силы, помимо достаточных значений индукции поля постоянного магнита и амплитуды тока, является малость массы маятника.

Маятник длиной 730 мм изготовлен из бруска легкой породы дерева, имеющего в сечении квадрат размерами 5×5 мм², на одном конце которого жестко закреплена металлическая ось, на другом — постоянный магнит размерами $9 \times 9 \times 20$ мм³. На расстоянии 5 мм от магнита размещена измерительная рамка, изготовленная из листового текстолита толщиной 2 мм, имеющая расстояние между вертикальными стенками, равное 46 мм, а ширина стенок — 1,8 мм. Питание установки осуществляется от сети переменного тока (50 гц) при помощи единого блока питания 25. Собственная частота колебаний маятника составляет 0,55 гц.

Экспериментальная установка позволила измерять время пролета в зависимости от фаз влета, скорость влета и вылета маятника, период колебаний маятника и другие величины, причем результаты воспроизводятся с достаточной точностью. Установка позволила достоверно подтвердить как возможность изменения времени пролета, так и наличие устойчивых колебаний затухающей колебательной системы с одной степенью свободы. Анализ экспериментальных данных подтвердил, что устойчивые колебания маятника происходят именно благодаря изменению времени движения маятника в пространстве взаимодействия.

Условия положительного вклада энергии, по-видимому, выражаются неравенствами

$$T/2 < \tau_0 < T, \quad (1)$$

где τ_0 — время невозмущенного пролета пространства взаимодействия, T — период внешней силы.

Условия отрицательного вклада энергии выражаются неравенствами

$$0 < \tau_0 < T/2. \quad (2)$$

Формулы (1) и (2) соответствуют времени пролета для основного колебания соответственно в колебательном и генераторном режимах.

Для неосновных колебаний время пролета принимает значения

$$\tau = \tau_0 + nT \quad (n = 1, 2, \dots).$$

Сотрудниками лаборатории кафедры теоретической физики Владимирского государственного педагогического института сконструирован ряд устройств, использующих аргументные колебания и принцип аргументных автоколебаний².

Ряд конструкций двигателей, работающих на аргументном принципе вклада энергии, имеет несколько синхронных скоростей. Сконструирован аргументный двигатель с пятью синхронными скоростями вращения ротора (при одной и той же частоте и неизменной амплитуде переменного напряжения питания). Один из двигателей имеет возможность изменять синхронную скорость вращения в зависимости от изменения величины зоны взаимодействия. Особенностью аргументных двигателей является то, что синхронные скорости практически не зависят от изменения напряжения питания и от изменения нагрузки в широких пределах. На аргументном принципе осуществлен ряд моделей электромеханических колебательных систем, амплитуды колебаний которых не зависят от изменения в десятки раз напряжения питания.

Итак, опыты достоверно подтверждают возможность устойчивых колебаний в затухающей колебательной системе при условии, что нерезонансная внешняя сила заданным образом изменяет время взаимодействия или время воздействия на колебательную систему.

Аргументный механизм вклада энергии выражается в следующих особенностях:

- 1) Наличие ряда дискретных устойчивых амплитуд.
- 2) Независимость (в весьма широких пределах) амплитуды колебаний от амплитуды источника энергии.

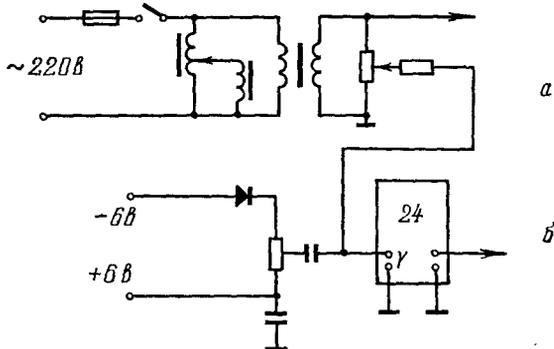


Рис. 4.

3) Возможность возбуждения дискретных амплитуд колебаний в колебательной системе без трения.

4) Независимость амплитуды колебаний от диссипативности системы (в широких пределах).

5) При флуктуациях отдельных амплитуд и периодов колебаний, обусловленных статистической природой взаимодействия, усредненные значения амплитуд (и соответственно периода колебания) характеризуются высокой стабильностью.

Владимирский государственный
педагогический институт
им. П. И. Лебедева-Полянского

*Д. И. Пеннер, Д. Б. Дубошинский,
М. И. Козаков, А. С. Вермель, Ю. В. Галкин*

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Д. И. Пеннер, Я. Б. Дубошинский, Д. Б. Дубошинский, М. И. Козаков, ДАН СССР **204**, 1065 (1972).
2. Ю. В. Галкин, А. С. Вермель, Я. Б. Дубошинский, Д. Б. Дубошинский, Авторское свидетельство № 344403, 19.4.1971 г., Бюлл. изобретений, № 21, 192 (1972); Я. Б. Дубошинский, А. С. Вермель, Д. Б. Дубошинский, М. И. Козаков, Авторское свидетельство № 344404, 19.4.1971 г., Бюлл. изобретений, № 21, 193 (1972). Ю. В. Галкин, М. И. Козаков, А. С. Вермель, Уч. зап. Владимирск. пед. ин-та, сер. «Физика» **40** (6), 85 (1972).