

У. С. ВАЛЕЕВ, Д. П. КОВАЛЕВ, Ю. В. ТОРНУЕВ

(Новосибирск)

СИНХРОННЫЙ ЕМКОСТНЫЙ НАКОПИТЕЛЬ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ИНФРАНИЗКОЧАСТОТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В ВОЗДУХЕ

В [1] предложен метод измерения инфранизкочастотных электромагнитных полей в воздухе синхронным накоплением зарядов, рассмотрен теоретический процесс накопления зарядов на емкости и установлено, что при использовании этого метода обеспечиваются необходимые для эффективного измерения поля по электрической компоненте условия: согласование полных сопротивлений датчика поля и входа измерительного прибора, повышение помехоустойчивости за счет применения еще до входа усилителя частотного выделения сигнала и применения элементов с практически неограниченными динамическими диапазонами. На основании этого нами был изготовлен синхронный емкостный накопитель для измерения периодических сигналов на фоне помех, например для измерения поля сердечной деятельности животных в условиях, приближенных к естественным условиям их обитания.

Установка для измерения состоит из следующих основных узлов: датчиков поля, емкостного накопителя с переключателем и электрометрического усилителя с индикатором. В качестве датчика использовались алюминиевые пластины размером 10×10 см или 15×25 см с разнесом между ними в первом случае 25 см, во втором — около метра. Датчик соединен с емкостным накопителем через специально выполненные коаксиальные кабели, емкость которых составляла не более 20 пф. Емкостный накопитель был изготовлен в виде одного блока и состоял из 3 электрически экранированных друг от друга частей RC-фильтра нижних частот, двух поляризованных реле РП-5 и накопительной RC-цепи (рис. 1). При этом особое внимание было обращено на обеспечение высоких сопротивлений утечек, высокой степени электрической симметрии схемы и требуемого переключения без помех.

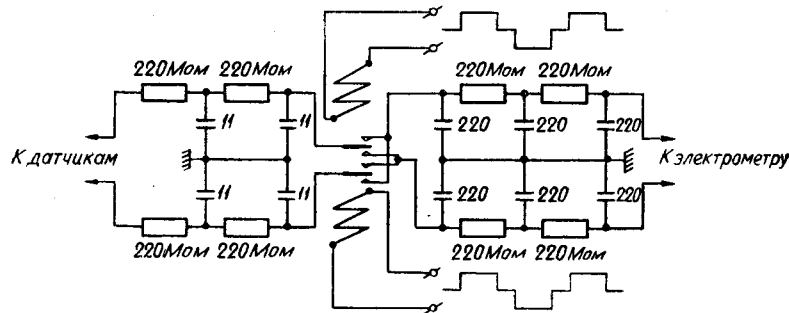


Рис. 1.

Подача и съем сигналов с реле осуществлялись непосредственно с контактов, расположенных на фарфоровых изоляторах. В основном в качестве изоляции применялся фторопласт. Общее сопротивление утечек накопителя было порядка 10^{13} ом.

Разность потенциалов на накопительной емкости, согласно [1], представляется в виде суммы определенных выражений по нечетным гармоникам функции переключения, и при определенной скважности импульсной функции переключения можно добиться равенства нулю какого-то определенного члена в сумме, например при $\tau = \frac{1}{2} \Delta t^*$ — члена, обязанного третьей гармонике переключения.

* В [1] это условие выглядело так: $\tau = \frac{1}{5} \Delta t$. При обозначении паузы между импульсами через τ , длительности импульсов через Δt в функцию переключения необходимо было вводить не $\cos i \omega_0 \tau$ а $\cos \frac{1}{2} i \omega_0 \tau$. Тогда упомянутое условие примет вид $\tau = \frac{1}{2} \Delta t$.

Естественно, что нами была сделана попытка подавления третьей гармоники. Для этой цели был разработан специальный генератор, выполненный в виде отдельного блока. Он состоял из задающего генератора, счетного блока, формирователя, фазоинвертора и выходного параллельно-балансного каскада, нагрузкой которого служили реле. Нестабильность генератора по частоте определялась задающим мультивибратором и равнялась 1% при температуре 10—35°С [2]. Генератор позволял переключать контакты реле с определенными скважностями. Были проверены переключения

$$\tau = \frac{1}{2} \Delta t \text{ и } \tau = \frac{1}{5} \Delta t.$$

Переключение контактов реле осуществлялось управляющим напряжением, форма которого приведена на рис. 1. Практически же функция переключения отличалась от требуемой, так как скважности более или менее точно выдерживаются на одной частоте и лишь приблизительно на всем диапазоне просматриваемых частот, вследствие конечности времени пролета подвижных контактов реле. Отчасти, видимо, поэтому выбором определенной скважности импульсов переключения не удалось добиться значительного подавления третьей гармоники (рис. 2). Основное подавление чувствительности накопителя к нечетным гармоникам переключения достигалось применением RC-фильтра нижних частот и поэтому с равным успехом для переключения контактов реле могут быть использованы подходящие лабораторные генераторы.

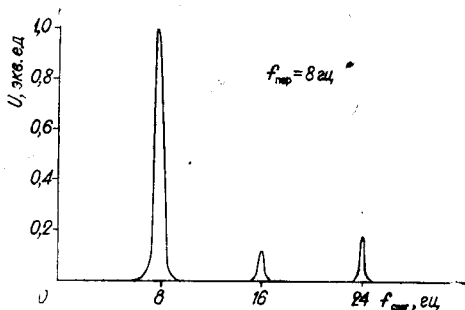


Рис. 2.

После накопления сигналы поступали на вход электрометра для усиления и последующей индикации. Запись сигнала осуществлялась стандартным чувствительным самописцем постоянного тока (чувствительность на всю шкалу 15 мв, постоянная времени 2 сек, $R_{вх} = 0,5 \text{ Мом}$). Для ликвидации несоответствия между симметричностью накопителя и несимметричностью стандартного электрометрического усилителя использовались два электрометра, выходы которых контролировались одним самописцем, или использовался электрометр со входом, переделанным на симметричный.

В последнем случае в стандартном электрометрическом усилителе У1-2 вторая половина лампы ЭМ-6 нами использовалась как рабочая, что позволяло иметь симметричный относительно земли вход, не ухудшая прочих характеристик основного входа усилителя. Поскольку обе половины лампы не одинаковы по своим параметрам, нам не удалось получить высокой идентичности по характеристикам обоих плеч усилителя. Режим работы электрометрической лампы выбирался по минимуму выходного сигнала при синфазных относительно земли напряжениях на симметричных входах усилителя.

Синфазный сигнал в электрометре с симметричным входом ослабляется в 20—25 раз. Входные емкости основного и дополнительного входов при холодном катодe равны соответственно 18 и 15 пф.

Синфазный сигнал в электрометре с симметричным входом ослабляется в 20—25 раз. Входные емкости основного и дополнительного входов при холодном катодe равны соответственно 18 и 15 пф.

Основные параметры установки были получены и периодически контролировались (калибровались) по электрическому полю, создаваемому в воздухе двумя разнесенными пластинами. Процесс накопления сигнала на емкости представлен на рис. 3. Для сравнения были проведены эксперименты с непосредственной подачей калибровочного сигнала на вход емкостного накопителя через эквивалентную емкость $C = 3,9 \text{ пф}$ (рис. 4). В обоих случаях результаты калибровки совпадали, только при использовании эквивалентной емкости уровень внешних шумов был ниже.

Минимальный сигнал, который удавалось хорошо различить на фоне шумов, был равен 0,3 мв при пересчете на пластины датчика. Амплитудная характеристика всего канала линейна в интервале от 0,3 мв до 10 в. Дрейф нуля накопителя с электрометрическим усилителем с симметричным входом не более 2 мв/ч при входном сопротивлении 10^{11} ом , причем практически отсутствуют кратковременные выбросы. Помеха:

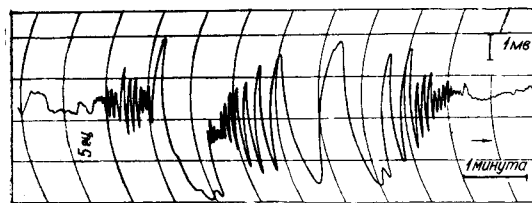


Рис. 3.

на входе всего канала с накопителем, нагруженным на измерительные пластины, имеет амплитуду не выше 0,3—0,5 мв (рис. 5).

Установка имеет ярко выраженную частотную зависимость. Зависимость выходного сигнала от частоты при постоянной частоте переключения отображает избирательные свойства установки с синхронным накопителем. Как видно из рис. 2, установка имеет некоторую чувствительность ко второй гармонике, что является следствием

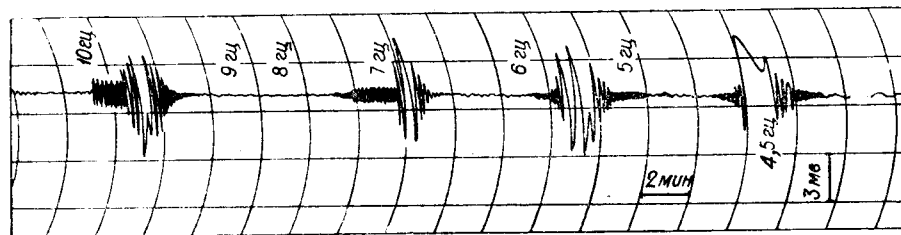


Рис. 4.

неполной электрической симметрии схемы. Частотная зависимость выходного сигнала, снятая при синхронности сигнала и переключения, имеет монотонно возрастающий с частотой характер (рис. 6). Кроме этих двух частотных характеристик на рис. 6 показана частотная зависимость ширины полосы пропускания в функции от частоты переключения. Из последней зависимости следует, например, что ширина полосы с повышением частоты также монотонно растет и на частоте переключения 8 Гц составляет 0,4 Гц.

Исследование действия на входе накопителя постоянного напряжения значительной величины подтвердило его нечувствительность к фоновому постоянному напряжению. При подаче на вход ступеньки напряжения с перепадом в 100 в на выходе накопителя наблюдались выбросы только в момент перепада на всех частотах переключения, затем восстанавливался нулевой уровень. Амплитуда выбросов при измерении на разных частотах падала с увеличением частоты в полном соответствии с законом убывания амплитуд гармоник единичной ступеньки.

Весь тракт с накопителем при подаче сигнала на калибровочные пластины ослаблял сигнал в 5 раз, в том числе в 2 раза (ослаблялся сигнал в усилителе с симметричным входом. Такое сравнительно незначительное ослабление сигнала имело место при полном сопротивлении датчика, в сто с лишним раз большим полного сопротивления входа усилителя с накопительной цепью. Таким образом, осуществлялось хорошее согласование полных сопротивлений.

С помощью описанной аппаратуры были проведены исследования электромагнитных полей биологических объектов (человека, кролика, морской свинки). В результате качественных измерений, проведенных с этими объектами, обнаружено наличие электрического поля вблизи них в пределах частот 1—10 Гц, величина которого уменьшается с увеличением частоты.

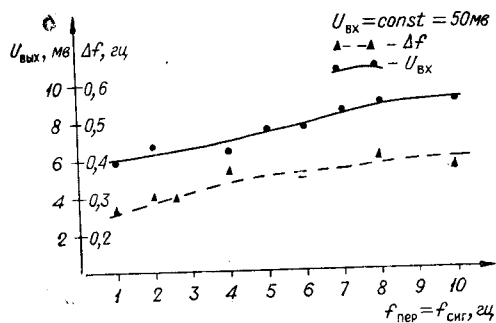


Рис. 6.

ЛИТЕРАТУРА

1. У. С. Валеев. Измерение в воздухе электромагнитных полей инфразвуковых частот синхронным накоплением зарядов.— Автометрия, 1967, № 1.

Поступило в редакцию
1 апреля 1968 г.

УДК 531.768

Л. Д. ГИК, Г. П. АРНАУТОВ, А. В. ЯКИМЕНКО

(Новосибирск)

К ВОПРОСУ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИБРОДАТЧИКОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИМПУЛЬСНЫХ ИСПЫТАНИЙ

При испытании ударных акселерометров обычно применяются ударные устройства: баллистические маятники или стенды с падающим молотом [1]. По отклику испытываемого датчика, зная ускорение, возникающее при ударе, определяют его чувствительность, резонансную частоту и успокоение. Точно так же можно испытать и вибродатчики, работающие в режиме виброметра. Поскольку у виброметра две границы частотного диапазона — сверху и снизу, то в этом режиме для датчика необходимо определять, кроме собственной частоты колебаний, верхнюю граничную частоту, а также горизонтальность частотной характеристики в интервале между этими частотами.

Для однозначной оценки свойств вибродатчика испытательный импульс должен удовлетворять определяемым ниже требованиям. Длительность ударного импульса влияет на крутизну фронта импульсной реакции вибродатчика. Чем короче импульс, тем точнее выходной сигнал датчика соответствует его импульсной характеристике, спектр которой дает частотную характеристику. Оценим максимальную величину длительности импульса, при которой частотная характеристика датчика может быть найдена простым преобразованием Фурье без дополнительных поправок. Для решения этой задачи можно воспользоваться спектральным разложением импульсов [2]. Действительно, импульс будет пригоден для исследования частотной характеристики датчика, если его спектр равномерен в той области частот, в которой должно быть проведено испытание. Если спектральная плотность импульса характеризуется выражением $S(f, \tau)$, где τ — длительность импульса, а f — текущая частота, то допустимую длительность импульса можно определять из неравенства

$$\frac{S(0, \tau) - S(f_v, \tau)}{S(0, \tau)} < \delta. \quad (1)$$

Здесь $S(0, \tau)$ и $S(f_v, \tau)$ — значения спектральной плотности на нулевой и на верхней граничной частоте интересующего нас диапазона; δ — допустимая погрешность определения частотной характеристики в этом частотном диапазоне. Неравенство (1) нужно решить для импульсов, представляющих практический интерес при испытании вибродатчиков. Наибольший интерес представляют три формы импульсов: полусинусоидальный (при механическом ударе), квадрат полусинусоиды (такой импульс весьма близко отражает нелинейный механический удар) и квадрат затухающей синусоиды (силовой импульс, близкий к такой форме, может иметь место при возбуждении электродинамического удара без специального формирования [3]). Решение уравнения (1) для трех названных импульсов представлено графически на рис. 1, где 1 — кривая, соответствующая полусинусоидальному импульсу; 2 — решение для импульса

вида квадрата полусинусоиды и 3 — то же, для импульса вида $e^{-\frac{2\pi\beta t}{\tau}} \sin^2 \frac{\pi}{\tau} t$.

В последнем случае длительностью импульса считаем полупериод затухающей синусоиды. Как видно из рисунка, максимальная длительность импульса при механических ударах должна быть не более $\tau < \frac{0,25}{f_v}$ при испытании с погрешностью $\delta = 5\%$