

**ВЛИЯНИЕ УПРУГИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ОБРАЗЦЕ НА ВЕЛИЧИНУ
ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ПОЛЯ
ПРИ СУПЕРПОЗИЦИИ ДВУХ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПОЛЕЙ
РАЗНЫХ ЧАСТОТ И АМПЛИТУД**

А. М. ГРУЗНОВ, Б. Б. ВИНОКУРОВ, И. Г. ЛЕЩЕНКО

(Представлена II научно-технической конференцией факультета автоматики
и вычислительной техники)

Если на ферромагнитный образец, находящийся в очень слабом высокочастотном поле (рис. 1), в отношении которого образец можно рассматривать как линейный элемент, воздействовать низкочастотным полем с амплитудой, достаточной для модуляции проницаемости образца, то в измерительной катушке появляется сложный спектр эдс вида $n\omega \pm m\Omega$, где ω — частота высокочастотного поля, Ω — частота низкочастотного поля, m и n — целые числа, изменяющиеся от 0 до ∞ [1].

Как показали наши эксперименты, огибающая сигнала в измерительной катушке, изменяющегося с частотой 2ω , и огибающая сигнала магнитных шумов на частоте 2ω , возникающих при воздействии на образец только низкочастотного поля, совпадают по форме и во времени для любых значений низкочастотного поля. Как сигнал второй гармоники, так и сигнал шумов просматривались в полосе частот 10 кГц.

Известно, что интенсивность шумов в сильной степени изменяется, если создать в образце искусственную анизотропию, которая зависит от упругих напряжений [2].

Ферстер и Ветцель, исследуя зависимость скачков Баркгаузена от деформации образца, обнаружили, что эта зависимость может быть очень сильной. Даже ничтожная деформация (осторожное прикосновение к образцу рукой) уже изменяет картину осциллограммы скачков.

Располагая сведениями о влиянии упругих напряжений на осциллограмму скачков Баркгаузена, снятую при квазистатическом перемагничивании, и данными наших экспериментов, показавших существование связи между эффектом Баркгаузена и сигналом второй гармоники, мы провели исследование влияния упругих напряжений на вторую гармонику.

Эксперименты были проведены на установке, показанной на рис. 1. В качестве образцов применялись проволоки из различных ферромагнитных материалов: рояльной стали, никеля, нихрома, пермаллоя и др. диаметром 0,4 мм и длиной $(800 \div 1000)$ мм. Создание внутренних напряжений производилось растяжением проволоки при помощи приспособления типа «вóрот». Величина растягивающего усилия фиксировалась по показаниям пружинного динамометра. Во всех экспериментах предел упругости не превосходил. Соотношение частот: $\Omega/2\pi = 50$ Гц, $\omega/2\pi = 200$ кГц. Величина низкочастотного поля изменялась в широких пределах, величина высокочастотного поля не изменя-

лась. Средние значения второй гармоники определялись показаниями селективного вольтметра В6-1.

Как видно из рисунков 2, а, 2, б, 2, в, отражающих результаты эксперимента, соответственно для проволок из рояльной стали, никеля и нихрома, относительное изменение среднего за период модуляции значения второй гармоники достаточно велико и может достигать в отдельных случаях 80% и более.

Известно, что даже в отсутствие внешнего магнитного поля при воздействии на ферромагнетик упругих напряжений в нем происходят магнитные процессы. Упругая деформация вызывает перераспределение направлений намагниченности отдельных областей. Растяжение образцов из материалов с положительной магнитострикцией приводит к рос-

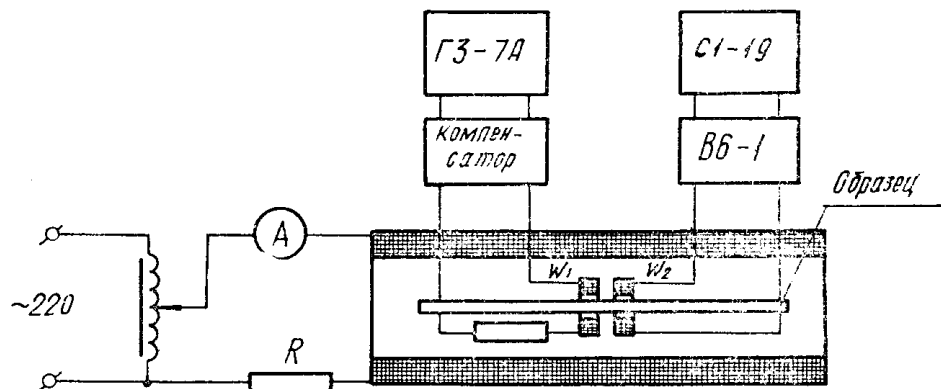


Рис. 1

ту доменов, у которых направление намагниченности близко к направлению растяжения, так как это направление становится осью легкого намагничивания. Тогда в случае совпадения направления растяжения с направлением внешнего поля скачки Баркгаузена должны возрасти. Обратная картина должна наблюдаться при растяжении материала с отрицательной магнитострикцией [2]. В [3] мы находим подтверждение этого положения.

А как ведет себя вторая гармоника? Из рис. 2 видно, что для материалов с положительной магнитострикцией знак приращения эдс второй гармоники положительный (рис. 2, а, 2, в), а для материала с отрицательной магнитострикцией (рис. 2, б для Ni) знак приращения отрицательный.

Чувствительность и вид зависимости сигнала второй гармоники от упругих напряжений в значительной степени зависит от величины низкочастотного поля. Данная зависимость для проволок из нихрома и никеля носит, главным образом, гистерезисный характер, хотя при определенных значениях подмагничивающего поля гистерезис отсутствует. Для проволоки из рояльной стали линии нагружения и разгружения совпадают при любых значениях подмагничивающего поля 50 гц.

Полученные результаты позволяют оценить значения относительных чувствительностей предложенного метода. Принимая коэффициент тензочувствительности равным

$$S_{\sigma} = \frac{\Delta U_{2\omega}}{U_{2\omega}(\sigma = 0)},$$

где $\Delta U_{2\omega}$ — абсолютное изменение среднего значения эдс второй гармоники;

$U_{2\omega}(\sigma = 0)$ — значение эдс второй гармоники при нагрузке $\sigma = 0$;

$\Delta\sigma$ — приращение механического напряжения, на прямолинейных участках зависимостей получаем значения: для чистого никеля $S_\sigma = 0,3 \div 1,2 \text{ \%}/\text{н}/\text{мм}^2$ соответственно для полей 15 и 90 э, для рояльной стали $S_\sigma = 0,1 \text{ \%}/\text{н}/\text{мм}^2$.

Для сравнения приведем значение коэффициента тензочувствительности для магнитоупругих преобразователей, который выражается

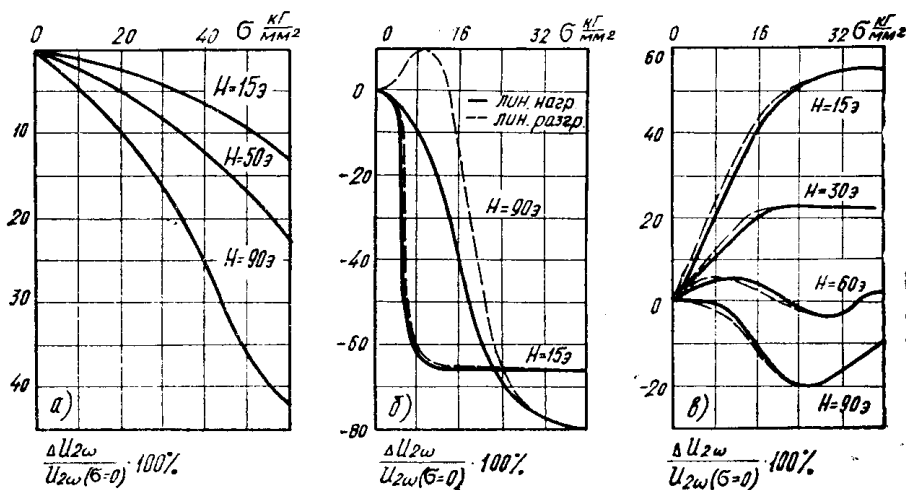


Рис. 2

либо как $S = \frac{\Delta\mu/\mu}{\Delta l/l}$ и для никеля имеет значения $S = (100 \div 300)$, либо как $S_\sigma = \frac{\Delta\mu/\mu}{\sigma}$, которая при пересчете принимает значения $S_\sigma = 0,05 \div 0,15 \text{ \%}/\text{н}/\text{мм}^2$. Для проволоочных тензометров эти значения намного ниже.

Полученные результаты позволяют надеяться, что предлагаемый метод суперпозиции двух параллельных полей разных частот и амплитуд может быть положен в основу приборов или устройств для измерения упругих напряжений и деформаций в ферромагнитных образцах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. А. Бессонов. Нелинейные электрические цепи. «Высшая школа», 1964.
2. К. П. Белов. Упругие, тепловые и электрические явления в ферромагнетиках. ГИТТЛ, М., 1957.
3. Н. Н. Колачевский. ФММ, II, вып. 2, 211—214, 1961.
4. А. М. Турчин. Электрические измерения неэлектрических величин. «Энергия», М.—Л., 1966.