

**І.А. КОСТЮКОВ**, аспірант, НТУ "ХПИ"

**АНАЛИЗ СПЕКТРОВ НАПРЯЖЕНИЯ НА  
ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ОБМОТКЕ ТРАНСФОРМАТОРНОГО  
ВИХРЕТОКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ**

Проведен спектральний аналіз сигналів виміральної обмотки трансформаторного електромагнітного преобразователя при наявності паразитних поєм в схемі вимірювання. Виділені основні компоненти паразитних шумів, оказують вплив на точність вимірювання корисного сигналу. К таким компонентам тут відноситься фліккер-компонента, білий шум, а також паразитна наводка. Результати роботи дозволяють підвищити точність вимірювань сигналів електромагнітними, в тому числі вихретоковими преобразователями.

**Ключевые слова:** преобразование Фурье, трансформаторный электромагнитный преобразователь, шум, частота Найквиста.

**Введение.** На данный момент электромагнитные преобразователи находят широкое применение, как в дефектоскопии, так и при определении электрофизических характеристик магнитных и немагнитных материалов различной геометрической формы. Широко применяются электромагнитные преобразователи как с продольным [1, 2, 3, 6, 7], так и с поперечным зондирующим магнитным полем [4, 5]. При применении трансформаторных вихретоковых преобразователей полезную информацию об электрофизических свойствах получают путем измерения напряжения на измерительной обмотке, как абсолютного значения напряжения, так и разности напряжений (в зависимости от схемы включения трансформаторного преобразователя). Поэтому большое значение имеет анализ факторов, которые могут определять некоторую погрешность измерения сигналов. Анализ факторов, влияющих на возможные погрешности измерений, особенно целесообразно проводить для случая относительно малых величин полезного сигнала (например, дифференциальная схема трансформаторного преобразователя). Кроме того, намагничивание продольным полем не прямолинейных, а спиральных образцов приводит к существенному уменьшению величины сигнала, фиксируемого с измерительной обмотки.

**Анализ спектров сигнала измерительной обмотки.** С целью анализа паразитных шумов в схеме измерения был зафиксирован ряд осциллограмм сигнала измерительной обмотки. Частота тока намагничивающей обмотки 120 Гц. Величина намагничивающего тока составляла 100 мА. Количество витков намагничивающей и

измерительной обмоток составляло  $W = 580$ . Измерения проводились в режиме холостого хода (без наличия образца). Типичный сигнал измерительной обмотки представлен на рис. 1

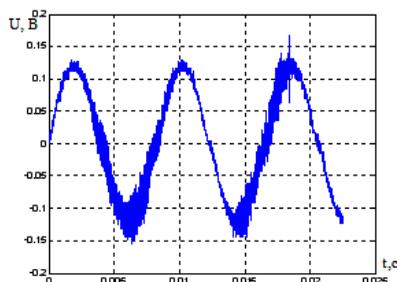


Рис. 1 – Сигнал измерительной обмотки трансформаторного вихрекового преобразователя при наличии помех в схеме измерения

Шаг дискретизации по времени составлял  $4 \cdot 10^{-6}$  с. На рис. 2 в двойном логарифмическом масштабе приведен спектр измеренного сигнала, полученный посредством применения MATLAB.

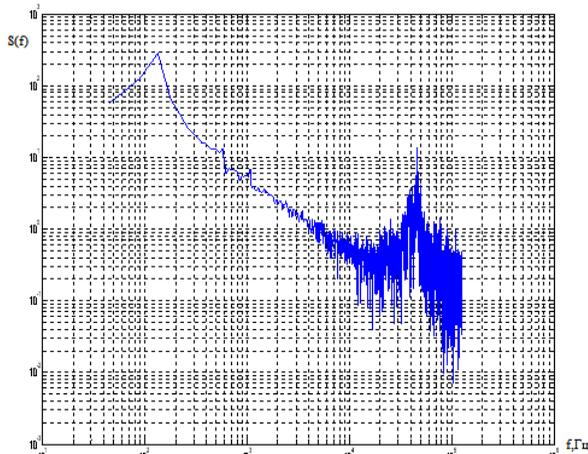


Рис. 2 – Спектр сигнала измерительной обмотки

Из анализа амплитудного спектра сигнала, приведенного на рис. 2, видно наличие в сигнале фликкер-компоненты шума, белого шума, а также наличие ярко выраженного максимума в высокочастотной части спектра, связанного с наличием, видимо, паразитной электромагнитной наводки в диапазоне частот, примерно, от 30 кГц до 60 кГц.

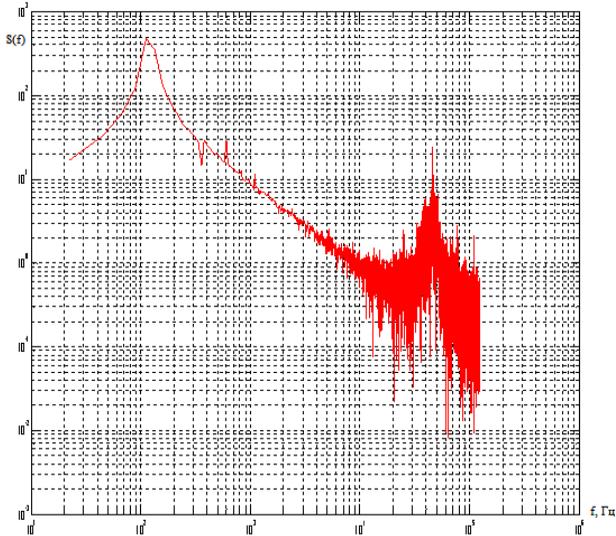


Рис. 3 – Спектр сигнала измерительной обмотки в двойном логарифмическом масштабе

На рис. 4 приведен амплитудный спектр в полулогарифмическом масштабе.

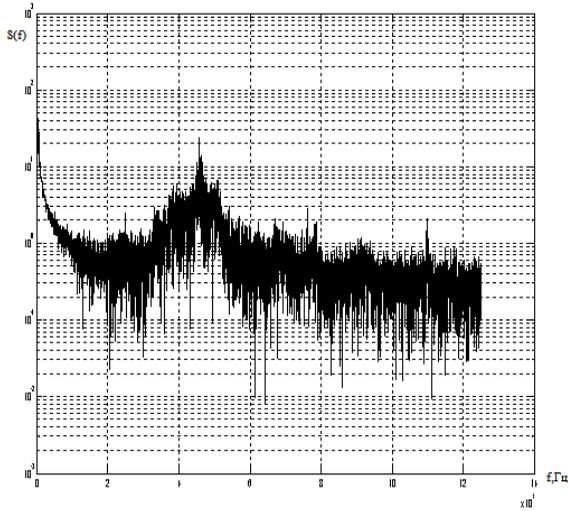


Рис. 4 – Спектр сигнала измерительной обмотки в полулогарифмическом масштабе

Шаг дискретизации, как и в предыдущем случае, составлял  $4 \cdot 10^{-6}$  с. Но в данном случае несколько более выражена фликкер-компонента шума. При этом следует отметить, что частотный диапазон фликкер-компоненты шума приближается к частоте основного гармонического колебания, что может создавать дополнительные сложности при фильтрации сигналов.

График симметричный относительно частоты Найквиста, которая находится из выражения:

$$\omega_N = \frac{\pi}{\Delta t}, \quad (1)$$

где  $\Delta t$  – шаг выборки. При указанном выше шаге дискретизации частота Найквиста составляет  $1,25 \cdot 10^5$  Гц, это – максимальное значение в массиве частот на рис. 2-4. С учетом симметричности графиков относительно частоты Найквиста, на рис. 2-4 приведена только половина спектра, имеющая самостоятельное значение и которая предоставляет исчерпывающую информацию.

**Выводы.** Выделены основные компоненты шума, влияющие на точность измерения сигнала измерительной обмотки трансформаторного вихретокового преобразователя. К основным компонентам шума, в данном случае, относится фликкер-компонента, компонента, обусловленная наличием белого шума, а также компонента, обусловленная наличием паразитной наводки. Наличие фликкер-компоненты шума наиболее наглядно видно при представлении спектра в двойном логарифмическом масштабе. Наличие белого шума наиболее наглядно видно при представлении спектра в полулогарифмическом масштабе. Такой анализ, в частности, целесообразно проводить при применении дифференциальной схемы трансформаторных вихретоковых преобразователей, когда полезный сигнал представляет собой разность электродвижущих сил, индуцируемых во встречно включенных измерительных обмотках.

**Список литературы:** 1. Герасимов В.Г. Неразрушающий контроль качества изделий электромагнитными методами В.Г. Герасимов, Ю.А. Останин, А.Д. Покровский М.: Энергия 1978 216 с. 2. Бондаренко В.Е. Бесконтактный вихретоковый преобразователь для контроля диаметра и удельного электрического сопротивления немагнитных цилиндрических изделий в полях различной ориентации электротехника и электромеханика 2003 №2 с. 5-10. 3. Егоров А.В. Измерительно-вычислительный комплекс для определения удельной электропроводности и магнитной проницаемости методом вихревых токов А.В. Егоров, В.В. Поляков, С.В. Иваков Ползуновский вестник №2 2010 с. 129-132. 4. Горкунов Б.М. Определение допустимой напряженности возбуждающего магнитного поля вихретокового преобразователя с поперечным полем / Б.М. Горкунов, А.А. Авраменко, С.Г. Львов, И.Б. Горкунова // Вісник НТУ "ХПИ". – 2012.

– № 61 (967). – С. 57-64. 5. Горкунов Б.М. Картина распределения магнитного поля внутри цилиндрического изделия находящегося в поперечном электромагнитном поле / Б.М. Горкунов, А.А. Авраменко, С.Г. Львов, И.Б. Горкунова // Вестник НТУ "ХПИ". – 2012. – № 57. – С. 87-92. 6. Себко В.П. Расчет параметрического и трансформаторного электромагнитных преобразователей / В.П. Себко, И.Н. Юданова, Ноздрачева Е.Л. Жаркова О.С. – Харьков.: НТУ "ХПИ" 2004. – 72 с. 7. Себко В.П. Бесконтактный вихревой контроль диаметра и удельного электрического сопротивления проводов линий электропередачи / В.П. Себко, В.Е. Бондаренко // Техническая электродинамика – 2002. – № 1. – С. 69-72.

**Bibliography (transliterated):** 1. Gerasimov V.G., Ostanin Ju.A., Pokrovskij A.D. *Nerazrushajushhij kontrol' kachestva izdelij jelektromagnitnymi metodami*, Moscow: Jenergija Publ., 1978, 216 p. Print. 2. Bondarenko V.E. Бесконтактный вихревой преобразователь для контроля диаметра и удельного электрического сопротивления немагнитных цилиндрических изделий в полях различной ориентации. *Elektrotehnika i elektromehаниka*. 2003, No. 2, 5-10. Print. 3. Egorov A.V., Poljakov, V.V., Ivakov S.V. Izmeritel'no-vychislitel'nyj kompleks dlja opredelenija udel'noj jelektroprovodnosti i magnitnoj pronicaemosti metodom vihrevyh tokov. *Polzunovskij vestnik*, 2010. No. 2, 129-132. Print. 4. Gorkunov B.M., Avramenko A.A., L'vov S.G., Gorkunova I.B. Opredelenie dopustimyj naprjazhennosti vobuzhdajushhego magnitnogo polja vihrekovogo preobrazovatelja s poperechnym polem. *Visnik NTU "HPI"*, 2012. No. 61. 57-64. Print. 5. Gorkunov B.M. Avramenko A.A. L'vov S.G. Gorkunova I.B. Kartina raspredelenija magnitnogo polja vnutri cilindricheskogo izdelija nahodjashhegosja v poperechnom jelektromagnitnom pole. *Visnik NTU "HPI"*. 2012. No. 57. 87-92. Print. 6. Sebko V.P., Judanova, N.N., Nozdracheva E.L., Zharkova O.S. Raschet parametriceskogo i transformatornogo jelektromagnitnyh preobrazovatelej. Har'kov: NTU "HPI" Publ., 2004. 72. Print. 7. Sebko V.P., Bondarenko V.E. Бесконтактный вихревой контроль диаметра и удельного электрического сопротивления проводов линий электропередачи. *Tehnicheskaja jelektrodinamika*, 2002. No. 1. 69-72. Print.

*Поступила (received) 13.05.2014*



**Костюков Иван Александрович**, аспирант кафедры "Электроизоляционной и кабельной техники" НТУ "ХПИ". Выпускник Национального технического университета "Харьковский политехнический институт" по специальности "Электроизоляционная и кабельная техника" (2011 г.). Научные интересы связаны с исследованиями электродинамических процессов в силовых кабельных линиях; методами математического моделирования электромагнитных полей.