

БЕСКОНТАКТНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ТОКОВ УТЕЧКИ
В ВЫСОКОВОЛЬТНОМ ОБОРУДОВАНИИИ.И. БРАНОВИЦКИЙ, Г.И. РАЗМЫСЛОВИЧ, П.Д. МАЦКЕВИЧ
ГНУ «ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»
Минск, Беларусь

В докладе представлены результаты исследований по созданию прибора для бесконтактного измерения малых токов, лежащих в области значений токов утечки высоковольтного оборудования (от десятков микроампер) через измерение их магнитных полей. В качестве магниточувствительного датчика использовался анизотропный магниторезисторный датчик с разрешающей способностью около 15 нТл. Он помещался в зазор кольцевого магнитопровода, охватывающего проводник с измеряемым током. Проведенные исследования по оптимизации режимов работы первичного преобразователя позволили обеспечить его максимальную чувствительность и, по-возможности, уменьшить погрешности измерения. В приборе использованы два уровня защиты от внешней электромагнитной помехи, создаваемой высоковольтным оборудованием. Первый уровень связан с разработкой системы магнитного экранирования магниточувствительного датчика, обеспечивающего значительное ослабление помехи. В целом преобразователь конструктивно выполнен по принципу «клевшей», содержащих разъемный кольцевой магнитопровод с магниторезисторным датчиком в его зазоре, которые помещены в магнитный экран, изготовленный из пермаллоя 79НМ. На рис. 1 представлены результаты испытания прибора при многократно ослабленной экранированием внешней помехе. Из рис. 1 видно, что данный прибор позволяет осуществлять бесконтактным способом измерение переменного тока от десятков микроампер. Это находится в диапазоне значений токов утечки высоковольтного оборудования при сопротивлении его изоляции, соответствующем нормативным требованиям (ранняя диагностика). В то же время видна неоднозначность показаний прибора, обусловленная влиянием изменяющейся величины помехи. Второй уровень защиты связан с отстройкой полезного сигнала от узкополосной электромагнитной помехи, частотой 50 Гц, которая наводится, например, от силовой сети. Рассмотрим функцию (1), которая моделирует смесь помехи и полезного сигнала [1]:

$$A(k) = \exp\left(i \frac{2\pi k}{L} f_1\right) + 0,0001 \cdot \exp\left(i \frac{2\pi k}{L} f_2\right), \quad (1)$$

где f_1 - частота помехи; f_2 - частота полезного сигнала; $\frac{k}{L} = t$ - время, выбираемое через равные временные интервалы; $\Delta t = \frac{T}{L}$, T - период функции; L - количество выборок за период; i - мнимая единица.

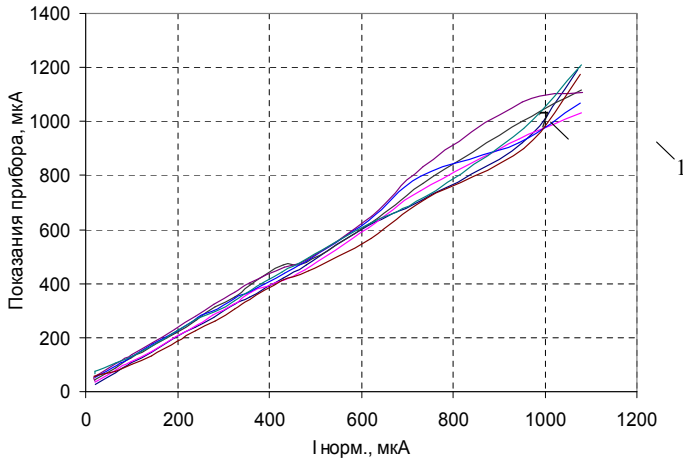
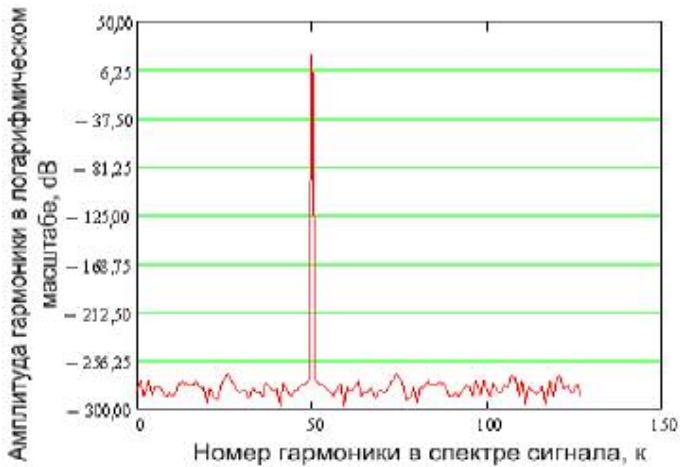
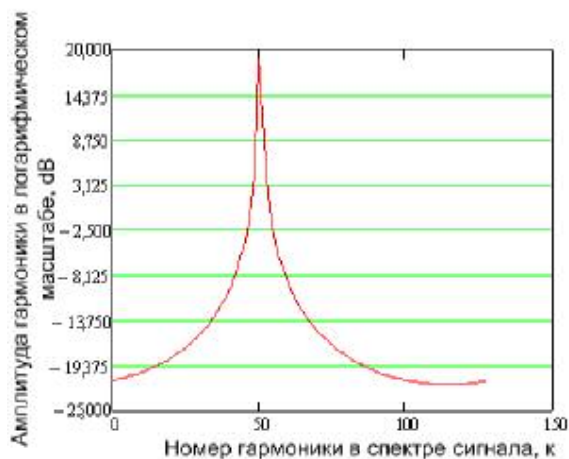


Рис. 1. Зависимость показаний прибора от величины измеряемого нормированного переменного тока при различной величине внешней помехи H_{II} : 1 - $H_{II} = 4$ А/м, ..., 7 - $H_{II} = 65$ А/м

При этом следует учитывать, что частота как помехи, так и полезного сигнала может быть и не целым числом. На рис. 2, а, б показаны спектральные представления монохроматического сигнала (одного из слагаемых выражения (1)), соответственно, с частотой $f = 50$ Гц – целое и $f = 50,375$ Гц – нецелое число.



а)



б)

Рис. 2. Логарифм спектра монохроматической функции: а – целой; б – дробной частоты

Спектр функции, содержащей целую частоту занимает одну точку - $f = 50$ Гц (рис. 2, а). В данном случае помеха легко удаляется путем исключения одной точки ($f = 50$ Гц) из спектра. Если же частота характеризуется дробным числом, то спектр помехи в этом случае «размыт» (рис. 2, б), и для ее удаления необходимо применение специальных методик. В работе излагается методика исключения помехи, частота которой характеризуется как целым, так и дробным числом. Методика реализуется на основе спектральных преобразований выражения (1) с помощью специальных функций пакета MATHCAD. Показано, что в случае, когда частота полезного сигнала близка к частоте помехи (что характерно, например, при измерении токов утечки в электроэнергетическом высоковольтном оборудовании), выделение полезного сигнала осуществляется линейными фильтрами с предварительным подавлением монохроматической помехи адаптивной фильтрацией. Разработан алгоритм цифровой фильтрации спектра сигнала, содержащего полезный сигнал и сильную помеху, реализованный на электронном и программном уровнях. Полученные результаты были использованы при разработке адаптивной системы прибора для бесконтактного измерения малых токов, обеспечивающей подавление сильной помехи, например, промышленной частоты при измерении токов утечки в высоковольтном оборудовании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Gershman A.B.**, V.I. Turchin and V.A. Zverev. Experimental Results of Localization of Moving Underwater Signal by Adaptive Beam forming // IEEE Transaction of Signal Processing, 1995. – Vol. 43. No. 10. – P. 2249-2257.