

Цель данного исследования - определение метрологических характеристик преобразователей напряжения измерительных E14-440 и E14-140 производства ЗАО "Л-Кард" (старое название – внешние модули E-440 и E-140), выполненное в процессе их подготовки к сертификации типа средств измерений.

Преобразователи E14 обеспечивают высокую точность измерений при соблюдении определенных условий. Например, заявленная погрешность измерения действующего значения напряжения переменного тока во всем частотном диапазоне нормируется от источника сигнала с активным выходным сопротивлением не более 600 Ом (за исключением поддиапазона 0,15 В при частоте дискретизации свыше 100 кГц; подробнее – см. табл. 1 и комментарии к рис. 44). Приведенные ниже результаты могут быть полезны для выбора режимов работы, в которых обеспечивается максимальная точность измерений, а также для оценки достоверности данных, полученных при помощи преобразователей E14 (и многоканальных преобразователей других типов с аналогичными входными коммутаторами, например L-780, L-791, H-11) при невозможности соблюдения требуемых условий.

Необходимо учитывать, что метрологические характеристики в многоканальном режиме существенно зависят от частоты переключения входного коммутатора, которая определяется параметром "межканальная задержка", зависящим от частоты дискретизации АЦП

ВНИМАНИЕ ! НЕ ПУТАТЬ ЧАСТОТУ ДИСКРЕТИЗАЦИИ С ЧАСТОТОЙ ОПРОСА КАНАЛОВ ! Например, в старых версиях программы PowerGraph* (в отличие от L-Graph) отсутствует возможность установки частоты дискретизации, и, независимо от задаваемой частоты опроса, коммутатор работает с межканальной задержкой, соответствующей максимальной частоте дискретизации АЦП, при которой в некоторых условиях (не удовлетворяющих требованиям табл.1) погрешность измерения напряжения постоянного тока может составлять десятки процентов вместо 0,05 - 0,5 %, обеспечиваемых преобразователями E14 в оптимально выбранных режимах работы.

Таблица 1. Условия, при которых нормируются метрологические характеристики E14

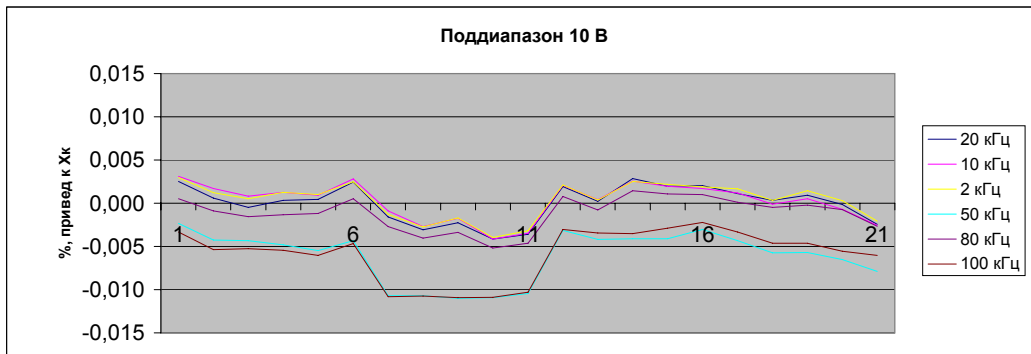
Вид измерений	Режим работы	Частота преобразования АЦП	Выходное сопротивление источника сигнала
Измерение напряжения постоянного тока	Одноканальный	От 1 до 100 кГц	Не более 5 кОм
	Многоканальный	20 кГц	Активное, не более 5 кОм
Измерение действующего значения напряжения переменного тока	-	От 20 до 100 кГц	Активное, не более 600 Ом
		От 100 до 400 кГц (только для E14-440, кроме поддиапазона 0,15 В)	

* в новых версиях драйверов PowerGraph предусматривается возможность изменения частоты дискретизации АЦП пропорционально частоте опроса каналов.

1. Измерение напряжения постоянного тока E14-440

1.1 Одноканальный режим (один опрашиваемый канал)

1.1.1 Погрешность при различных частотах дискретизации, дифференциальная схема подключения



Обозначения по оси абсцисс - условные, начало графиков соответствует напряжению -Xк, конец - напряжению +Xк. Различные погрешности при различных частотах обусловлены не зависимостью от частоты дискретизации, а особенностью E14-440 - случайным изменением напряжения смещения "0" (в пределах младшего разряда АЦП) при каждом перезапуске.

Рисунок 1

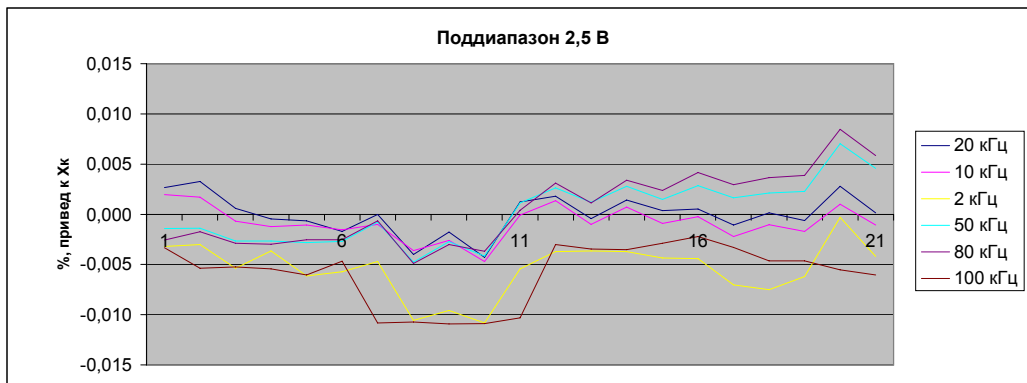


Рисунок 2

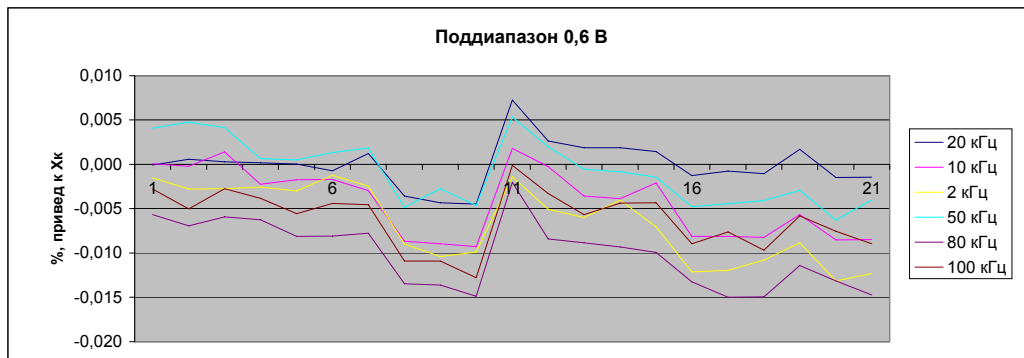


Рисунок 3

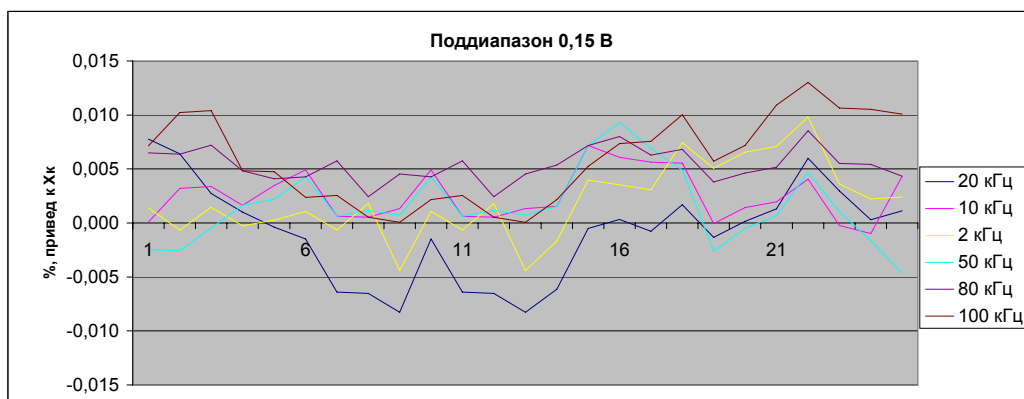


Рисунок 4

1.1.2 Погрешность при различных частотах дискретизации, 32-канальная схема подключения

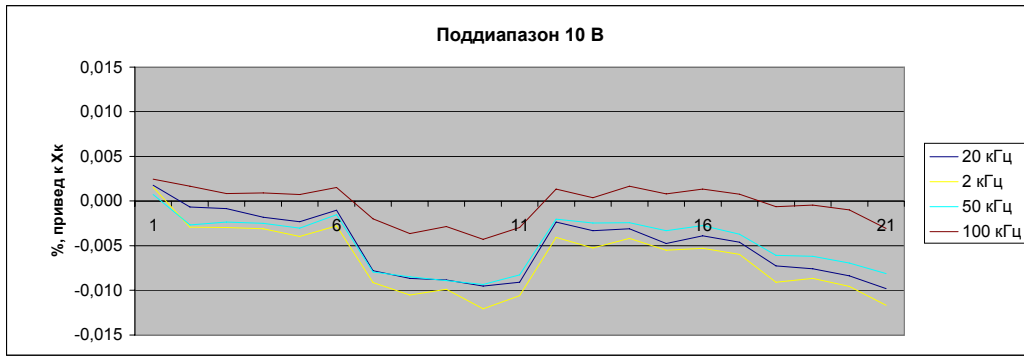


Рисунок 5

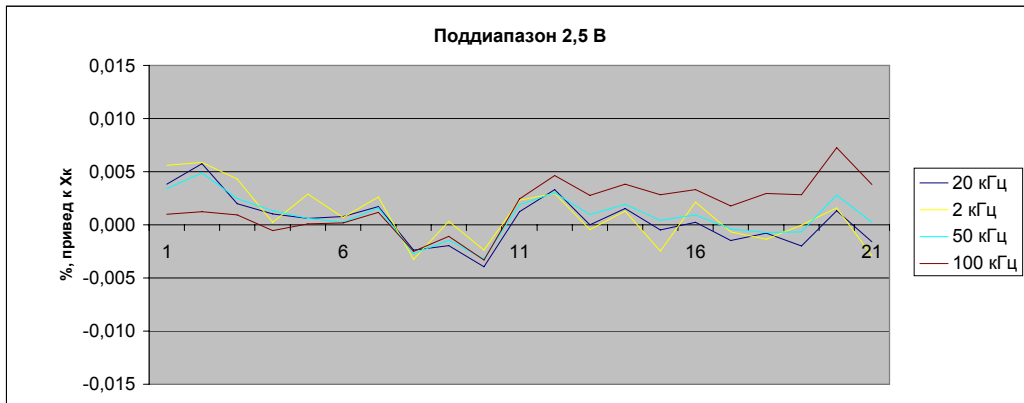


Рисунок 6

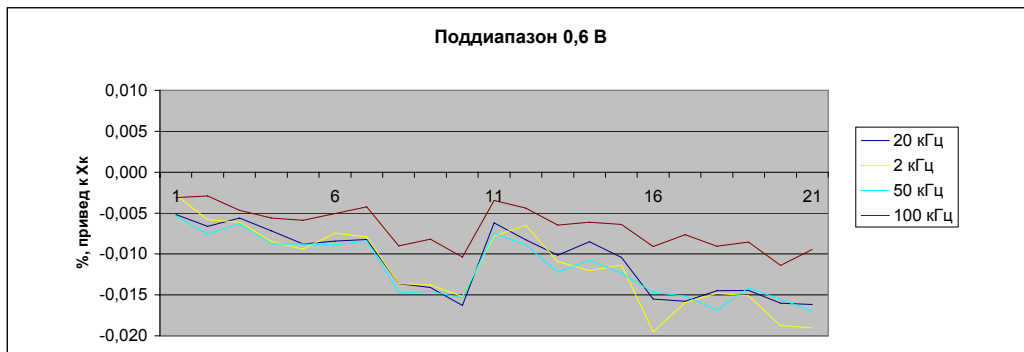


Рисунок 7

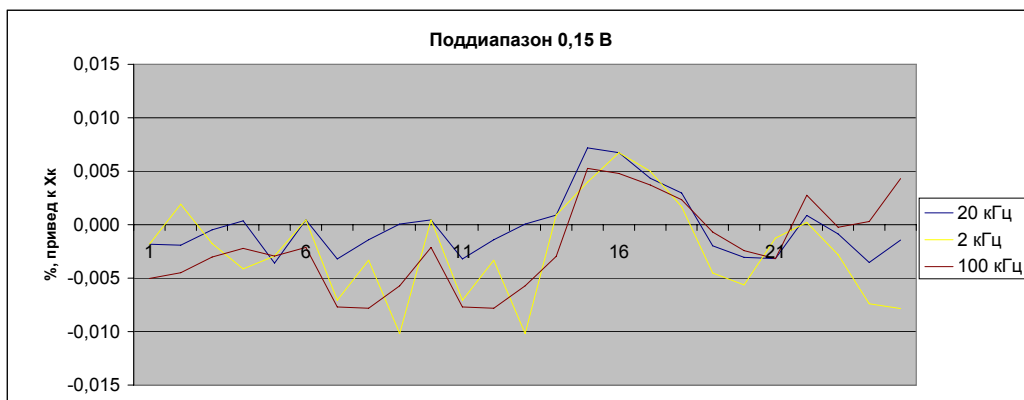


Рисунок 8

Вывод:

При измерении напряжения постоянного тока в одноканальном режиме зависимости погрешности от частоты дискретизации (в диапазоне 2-100 кГц) не наблюдается, результаты измерений для дифференциальной и для 32-канальной схем подключения практически совпадают

1.2 Многоканальный режим (количество опрашиваемых каналов более 1)

Наибольшее межканальное прохождение и уменьшение входного сопротивления наблюдается в режиме 2 опрашиваемых каналов, поэтому все многоканальные измерения проводились в этом режиме.

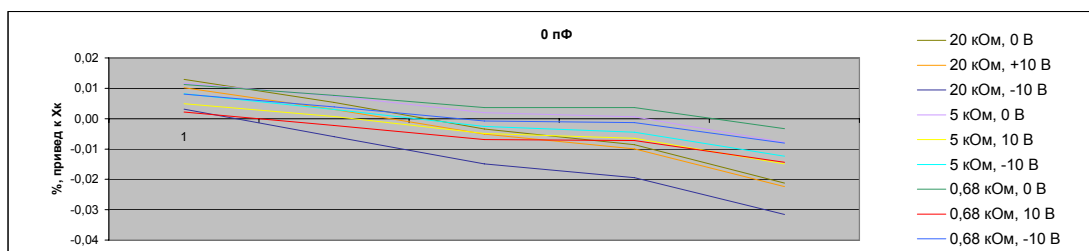
Определение погрешности измерения в одном канале осуществляется при подаче на вход другого канала нулевого напряжения или напряжений положительной/отрицательной полярности, равных конечному значению поддиапазона.

1.2.1 Зависимость погрешности от выходной емкости источника сигнала

Погрешность в многоканальном режиме существенно зависит от выходной емкости источника сигнала.

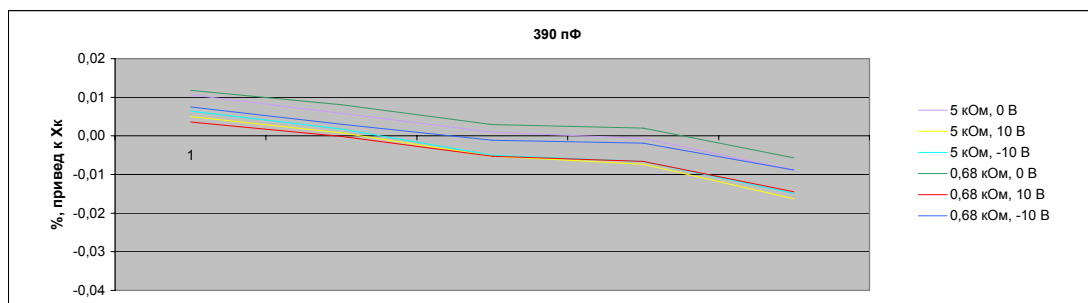
Погрешность увеличивается (до значения, зависящего от частоты дискретизации и выходного сопротивления источника сигнала) при увеличении постоянной времени (RC), которая образуется, например, за счет емкости соединительного кабеля. Подробнее см. <http://www.lcard.ru/publ-12.php3>.

1.2.1.1 Поддиапазоны в обоих каналах 10 В. Частота дискретизации АЦП 20 кГц.



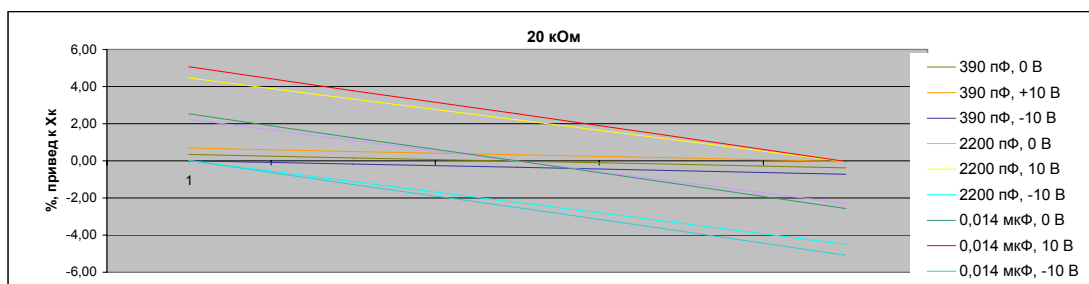
При незначительной выходной емкости погрешность слабо зависит от выходного сопротивления (до 20 кОм)

Рисунок 9



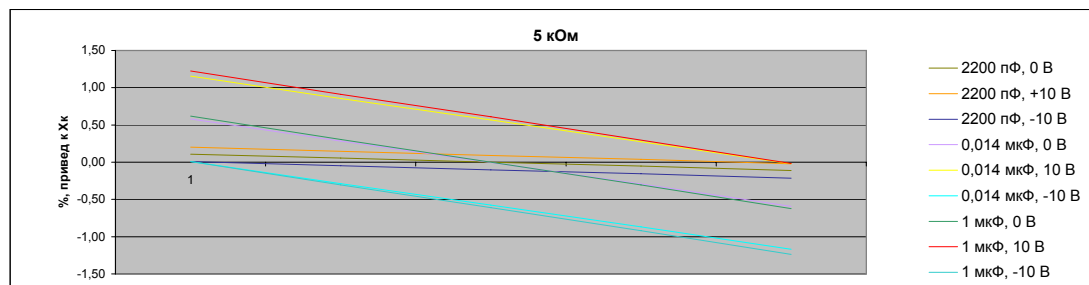
Для сопротивлений 0,68 кОм и 5 кОм погрешность при увеличении емкости до 390 пФ не изменяется

Рисунок 10



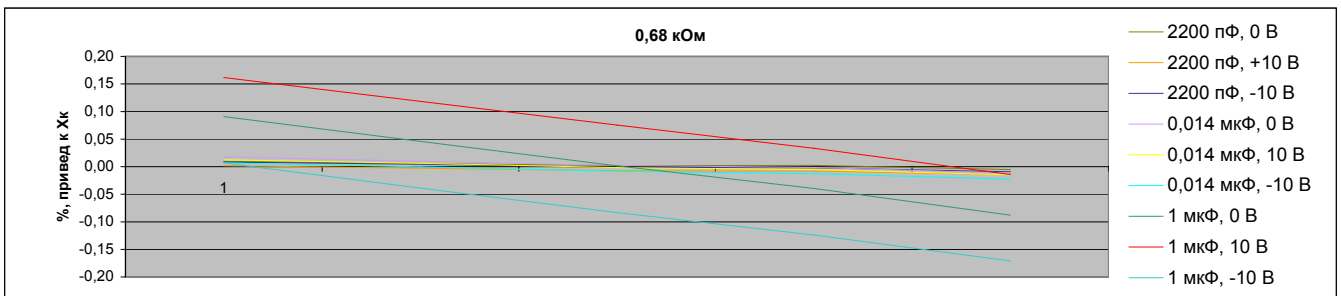
Для сопротивления 20 кОм при емкости 390 пФ погрешность начинает увеличиваться, а при емкости более 2200 пФ достигает максимального значения

Рисунок 11



Для сопротивления 5 кОм при емкости 2200 пФ погрешность начинает увеличиваться, а при емкости более 0,014 мкФ достигает максимального значения

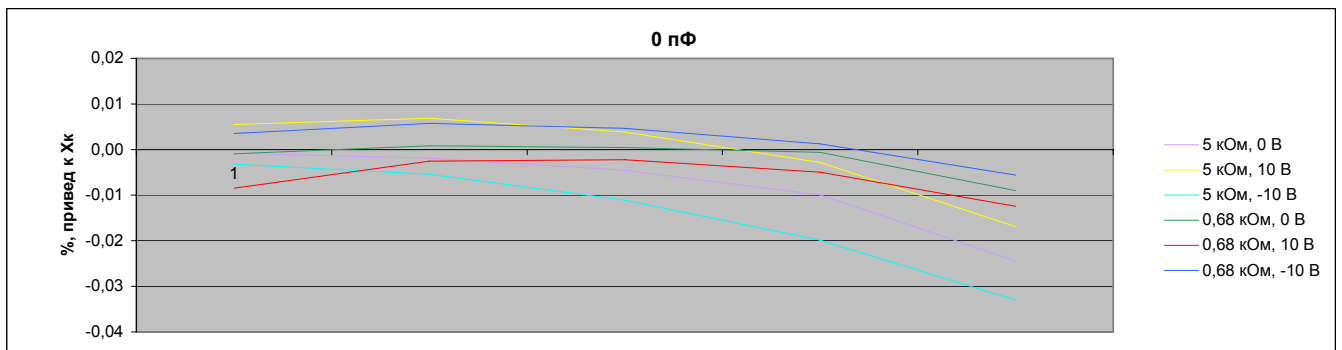
Рисунок 12



Для сопротивления 0,68 кОм погрешность начинает увеличиваться при емкости более 0,014 мкФ.

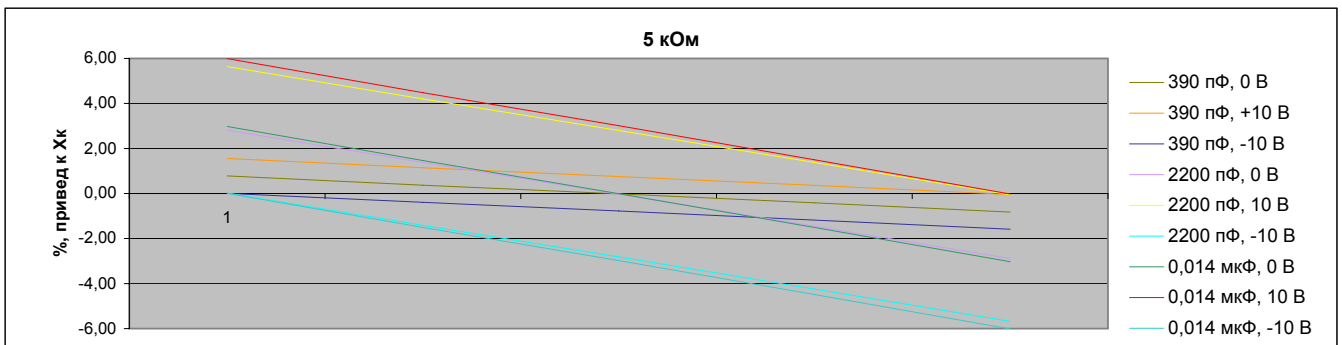
Рисунок 13

1.2.1.2 Поддиапазоны в обоих каналах 10 В. Частота дискретизации АЦП 100 кГц.



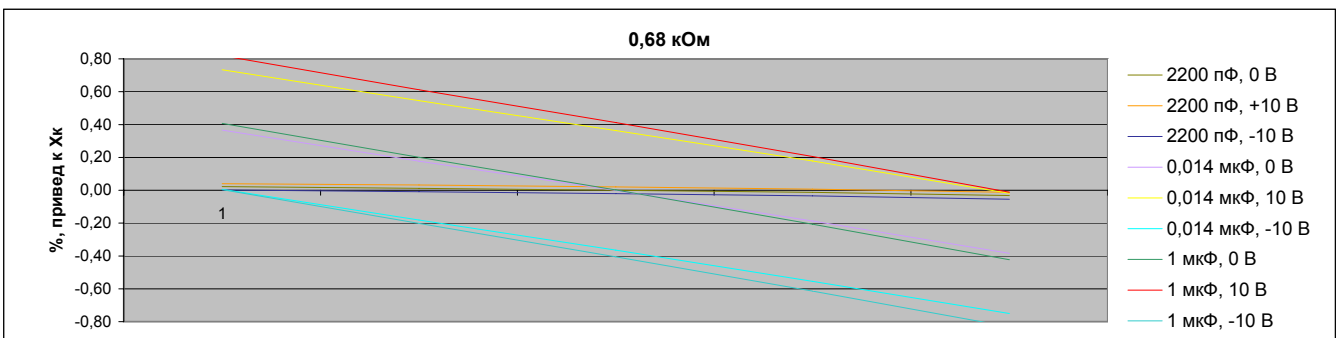
При незначительной выходной емкости и частоте дискретизации 100 кГц погрешность для сопротивления 0,68 кОм остается в тех же пределах, что и при частоте 20 кГц, а для сопротивления 5 кОм немного возрастает.

Рисунок 14



Для сопротивления 5 кОм при емкости 390 пФ погрешность начинает увеличиваться, а при емкости более 2200 пФ достигает максимального значения

Рисунок 15



Для сопротивления 0,68 кОм при емкости 2200 пФ погрешность начинает увеличиваться, а при емкости более 0,014 мкФ достигает максимального значения

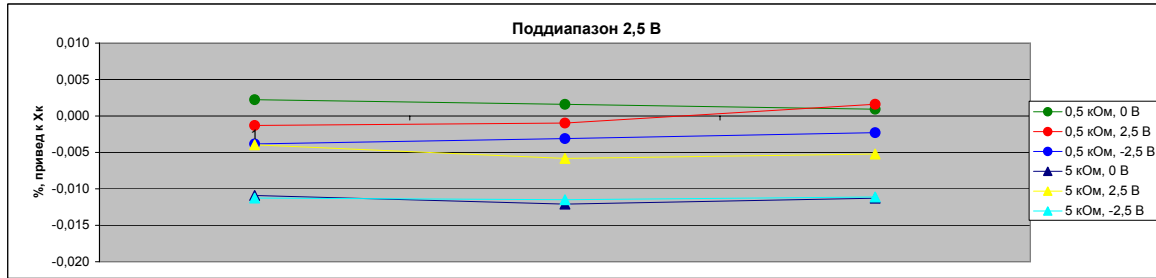
Рисунок 16

Вывод: Максимальное значение погрешности пропорционально выходному сопротивлению и частоте переключения коммутатора в соответствии с формулой $U=U_0/(1+T/RC_0)$, где C_0 - внутренняя емкость коммутатора.

1.2.2 Зависимость погрешности от сопротивления источника сигнала

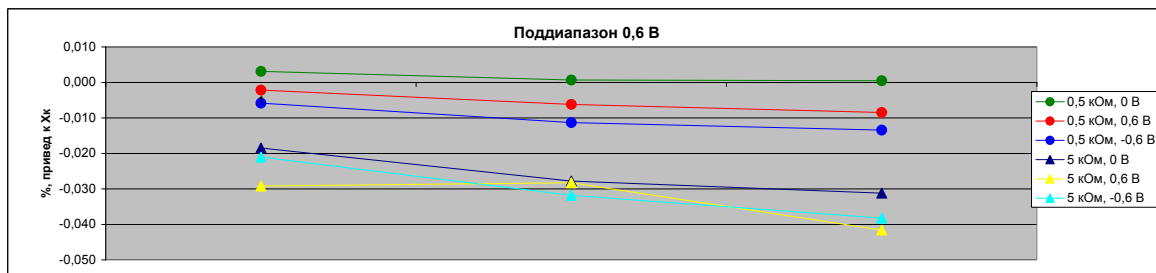
Выходная емкость источника сигнала пренебрежимо мала. Измерения проводились только при частоте дискретизации 20 кГц, для которой обеспечивается сопоставимость погрешности с погрешностью в одноканальном режиме.

1.2.2.1 Поддиапазоны в обоих каналах одинаковые.



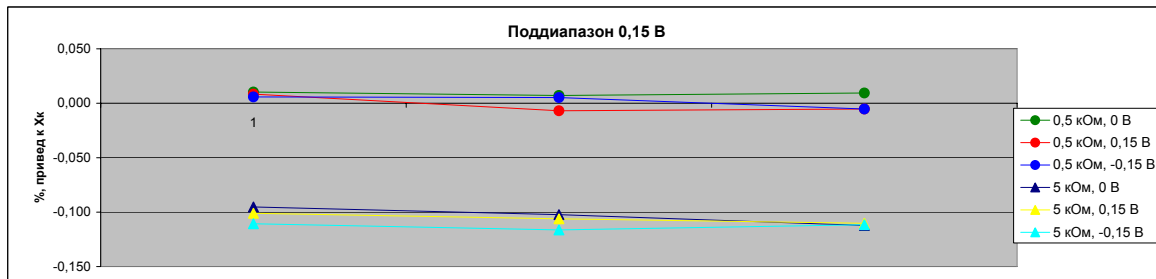
Различие показаний между разными сериями измерений, не превышающее 0,01 %, не может служить основанием для достоверных заключений, т.к. особенностью Е14-440 является случайное изменение напряжения смещения "0" (в пределах младшего разряда АЦП) при каждом перезапуске. С достаточно высокой вероятностью можно предположить, что на данном рисунке влияния межканального прохождения не наблюдается, а изменение напряжения смещения "0" (за счет входного тока) при сопротивлении 5 кОм составляет 0,01%.

Рисунок 17



Изменение погрешности за счет смещения "0" (при сопротивлении источника сигнала 5 кОм) составляет 0,02-0,03 %

Рисунок 18

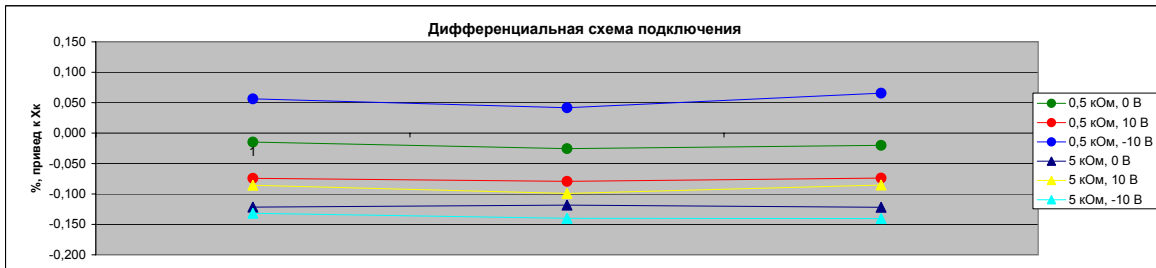


Изменение погрешности за счет смещения "0" составляет 0,1%, что согласуется с результатами в диапазоне 0,6 В (смещение "0" в абсолютных единицах в обоих случаях одинаково)

Рисунок 19

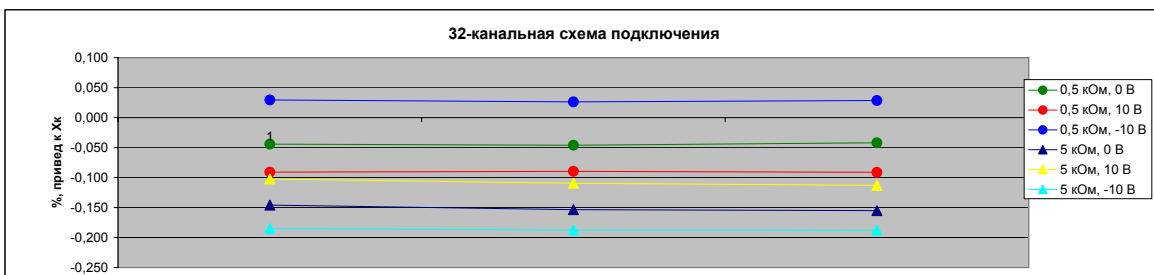
1.2.2.2 В первом канале поддиапазон 0,15 В, во втором - 10 В.

Определяется погрешность измерения в первом канале при подаче на вход второго канала напряжений 0, +10 и -10 В.



Влияние напряжения во втором канале на погрешность измерения в первом - примерно 0,05 %, что соответствует межканальному прохождению -100 дБ (с учетом отношения (66:1) уровня сигнала во втором канале (10 В) к нормирующему значению Xк (0,15 В)).

Рисунок 20



Для подтверждения соответствия результатов измерения в дифференциальной и 32-канальной схемах подключения при исследовании влияния изменения напряжения в одном канале на погрешность в другом выбран режим, в котором это влияние четко проявляется. Графики зависимостей практически совпадают с графиками рис.20.

Рисунок 21

2. Измерение напряжения постоянного тока E14-140

2.1 Одноканальный режим (один опрашиваемый канал)

2.1.1 Погрешность при различных частотах дискретизации, дифференциальная схема подключения

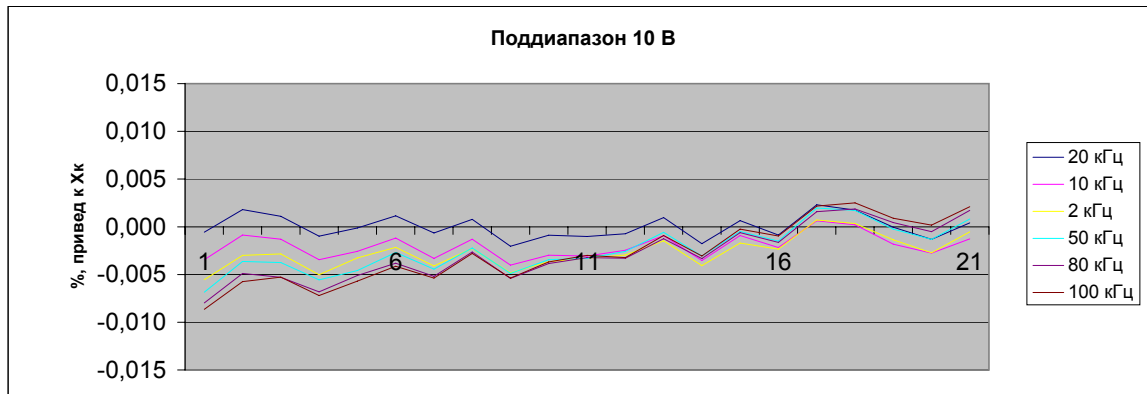


Рисунок 22

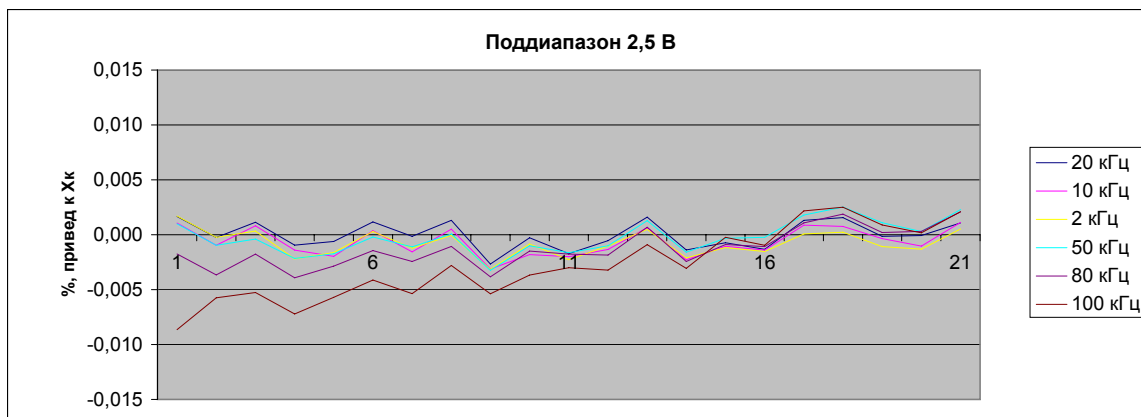


Рисунок 23

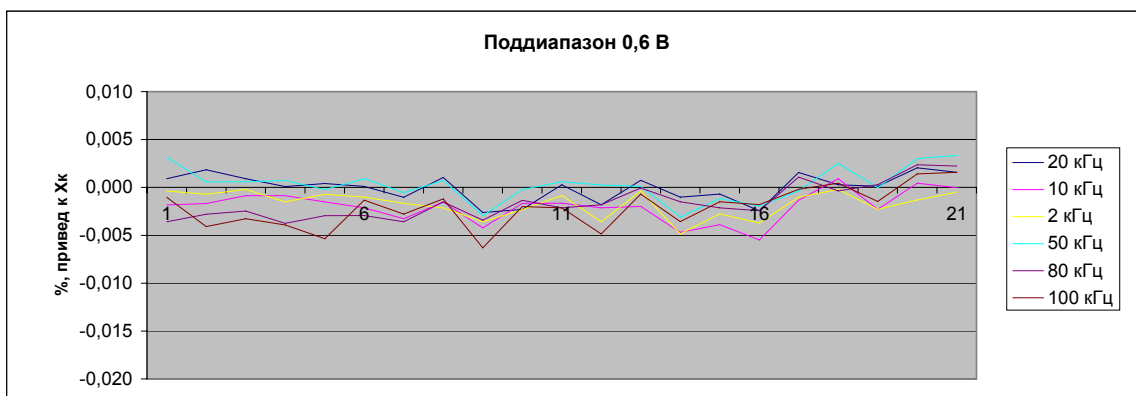


Рисунок 24

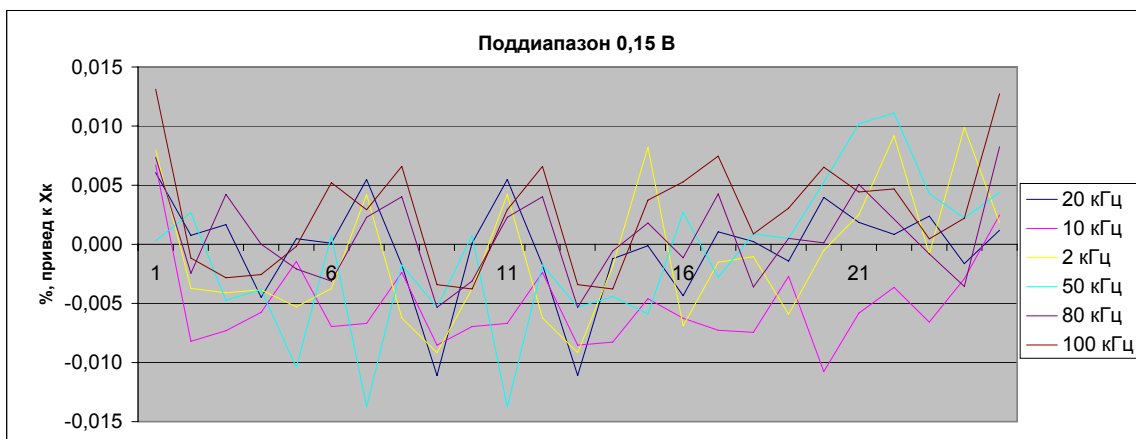


Рисунок 25

2.1.2 Погрешность при различных частотах дискретизации, 32-канальная схема подключения

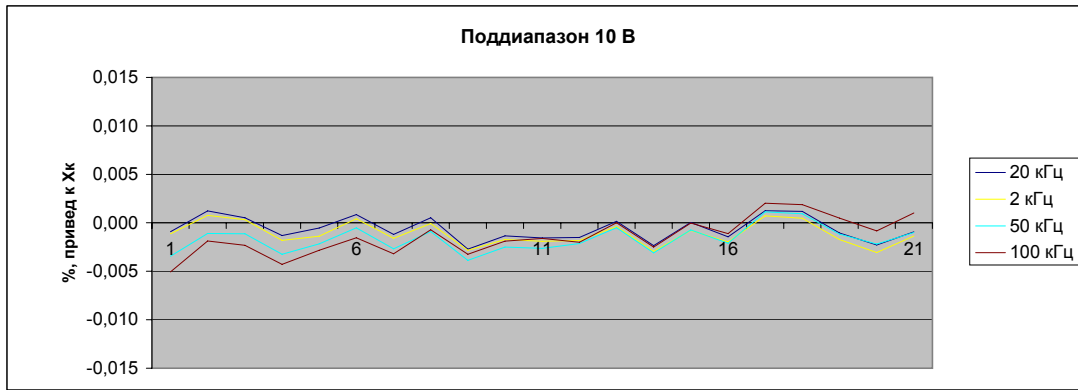


Рисунок 26

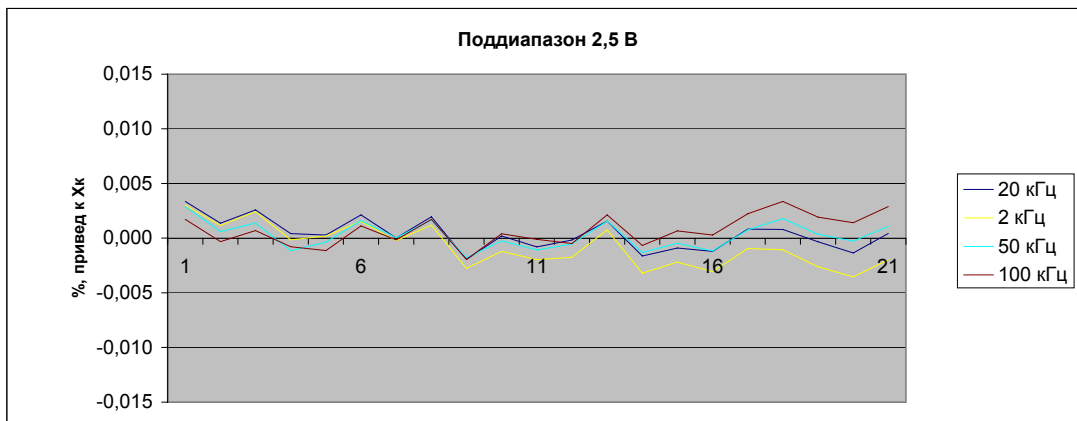


Рисунок 27

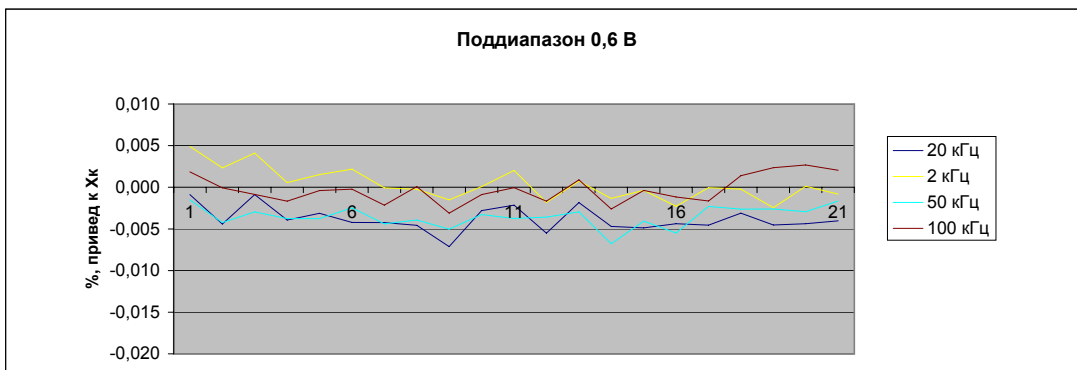


Рисунок 28

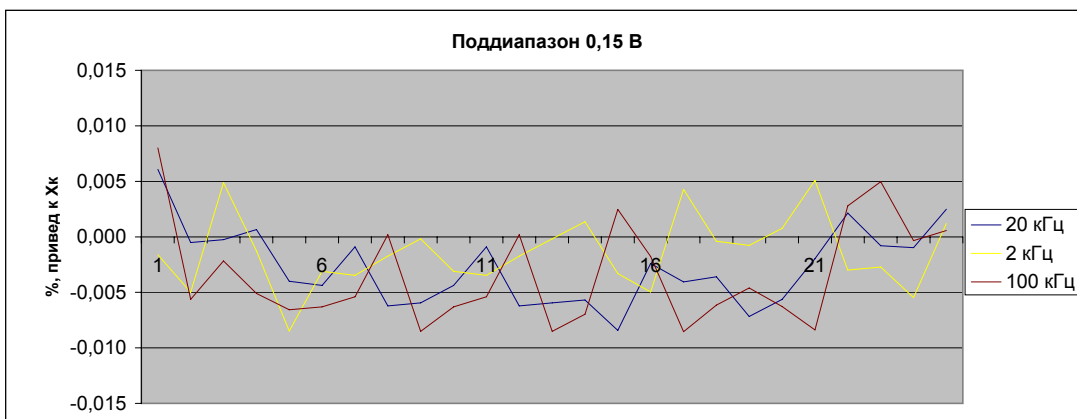


Рисунок 29

Вывод:

Также, как и для E14-440, при измерении напряжения постоянного тока в одноканальном режиме зависимости погрешности от частоты дискретизации (в диапазоне 2-100 кГц) не наблюдается, результаты измерений для дифференциальной и для 32-канальной схем подключения практически совпадают

2.2 Многоканальный режим (количество опрашиваемых каналов 2)

2.2.2 Зависимость погрешности от сопротивления источника сигнала

Выходная емкость источника сигнала пренебрежимо мала. Измерения проводились только при частоте дискретизации 20 кГц, для которой обеспечивается сопоставимость погрешности с погрешностью в одноканальном режиме.

Определение погрешности измерения в одном канале осуществляется при подаче на вход другого канала нулевого напряжения или напряжений положительной/отрицательной полярности, равных конечному значению поддиапазона.

2.2.2.1 Поддиапазоны в обоих каналах одинаковые.

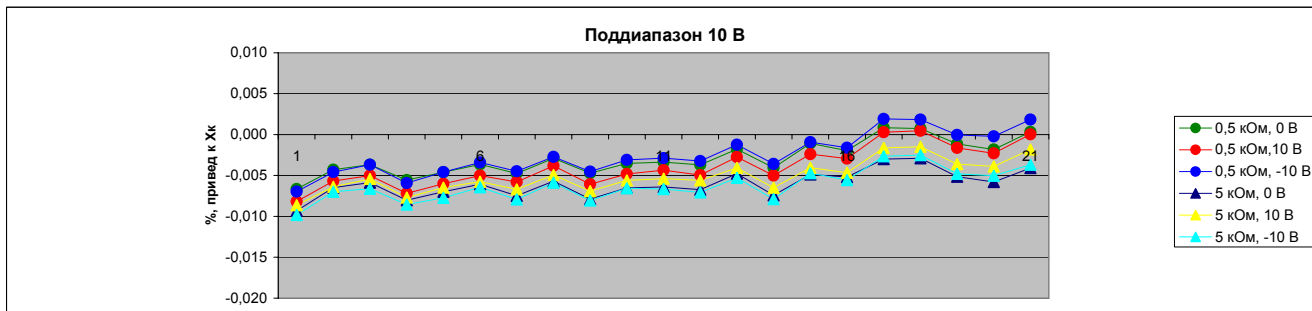
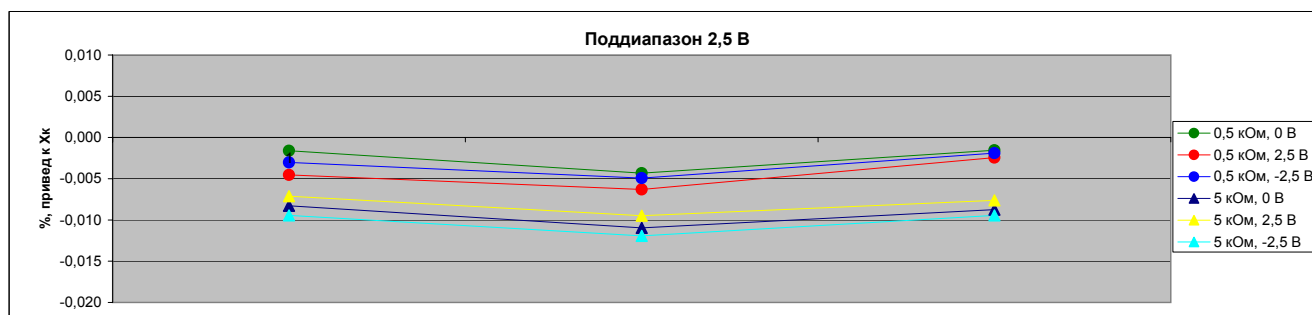
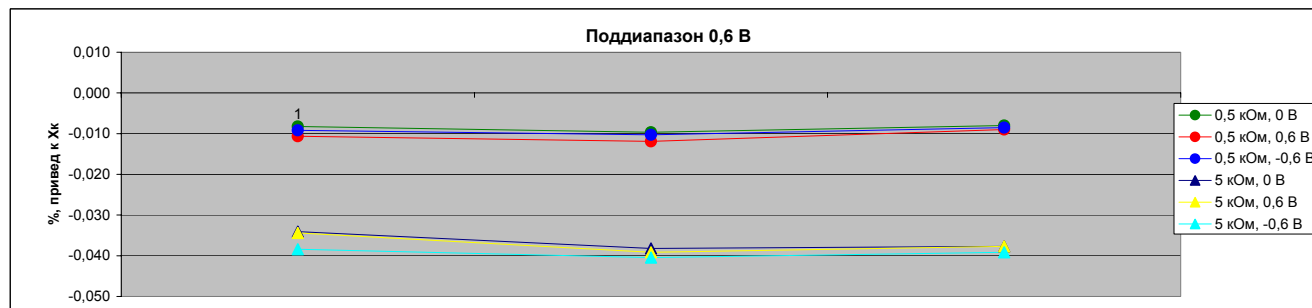


Рисунок 30



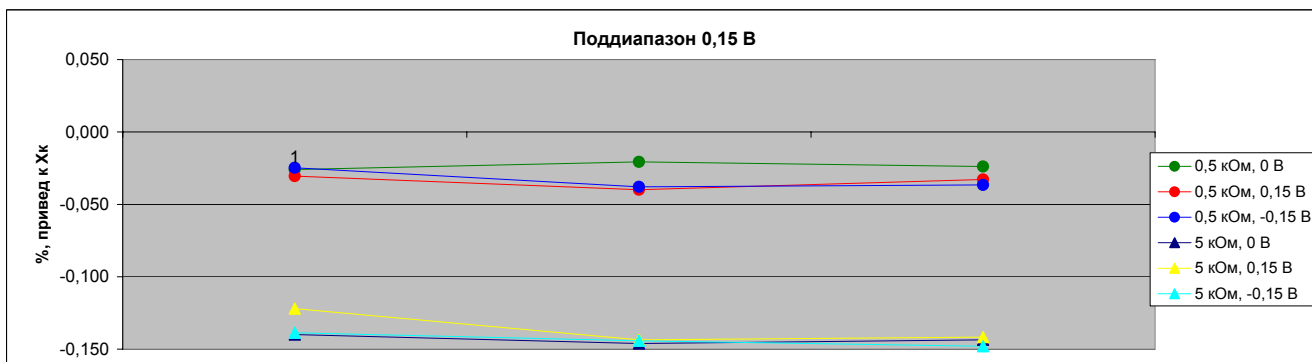
Также, как и для E14-440, изменение напряжения смещения "0" (за счет входного тока) при сопротивлении 5 кОм составляет 0,01%.

Рисунок 31



Также, как и для E14-440, изменение погрешности за счет смещения "0" (при сопротивлении источника сигнала 5 кОм) составляет 0,03 %

Рисунок 32

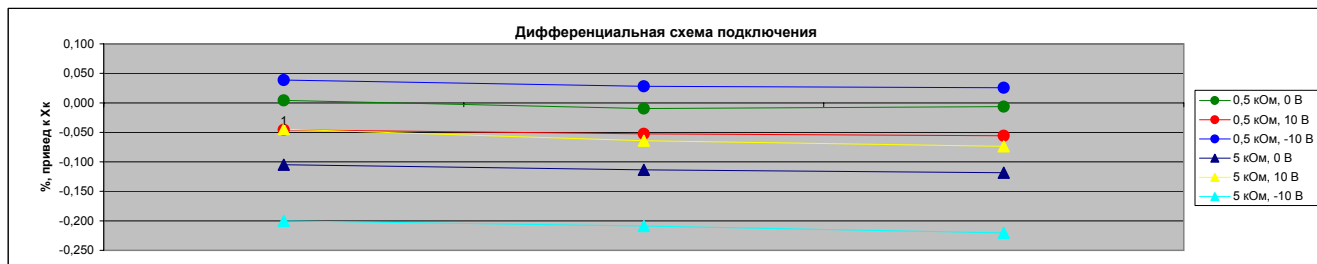


Также, как и для E14-440, изменение погрешности за счет смещения "0" составляет 0,1%

Рисунок 33

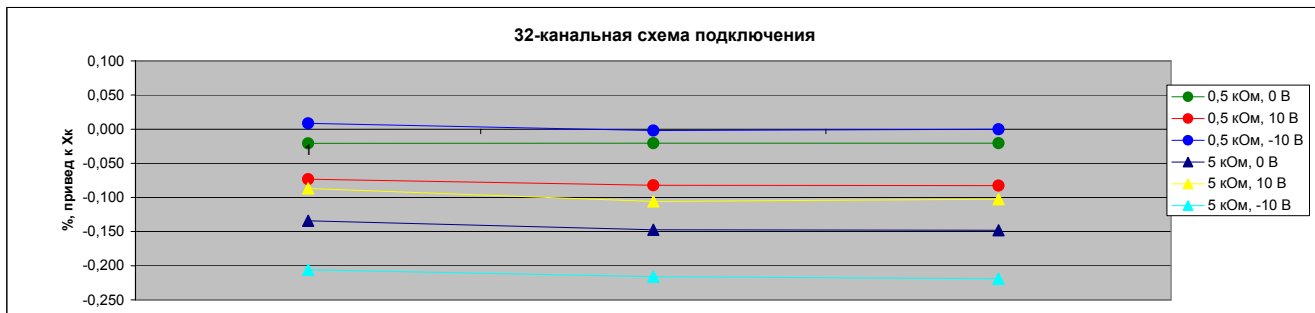
2.2.2.2 В первом канале поддиапазон 0,15 В, во втором - 10 В.

Определяется погрешность измерения в первом канале при подаче на вход второго канала напряжений 0, +10 и -10 В.



Также, как и для E14-440, межканальное прохождение составляет примерно -100 дБ (с учетом отношения (66:1) уровня сигнала во втором канале (10 В) к нормирующему значению X_k (0,15 В)).

Рисунок 34



Также, как и для E14-440, результаты измерения в дифференциальной и 32-канальной схемах подключения практически совпадают

Рисунок 35

3. Измерение напряжения переменного тока Е14-440

Выходное сопротивление источника сигнала – 680 Ом, выходная емкость – пренебрежимо мала.

3.1 АЧХ в одноканальном режиме

3.1.1 Частота дискретизации АЦП 20 кГц

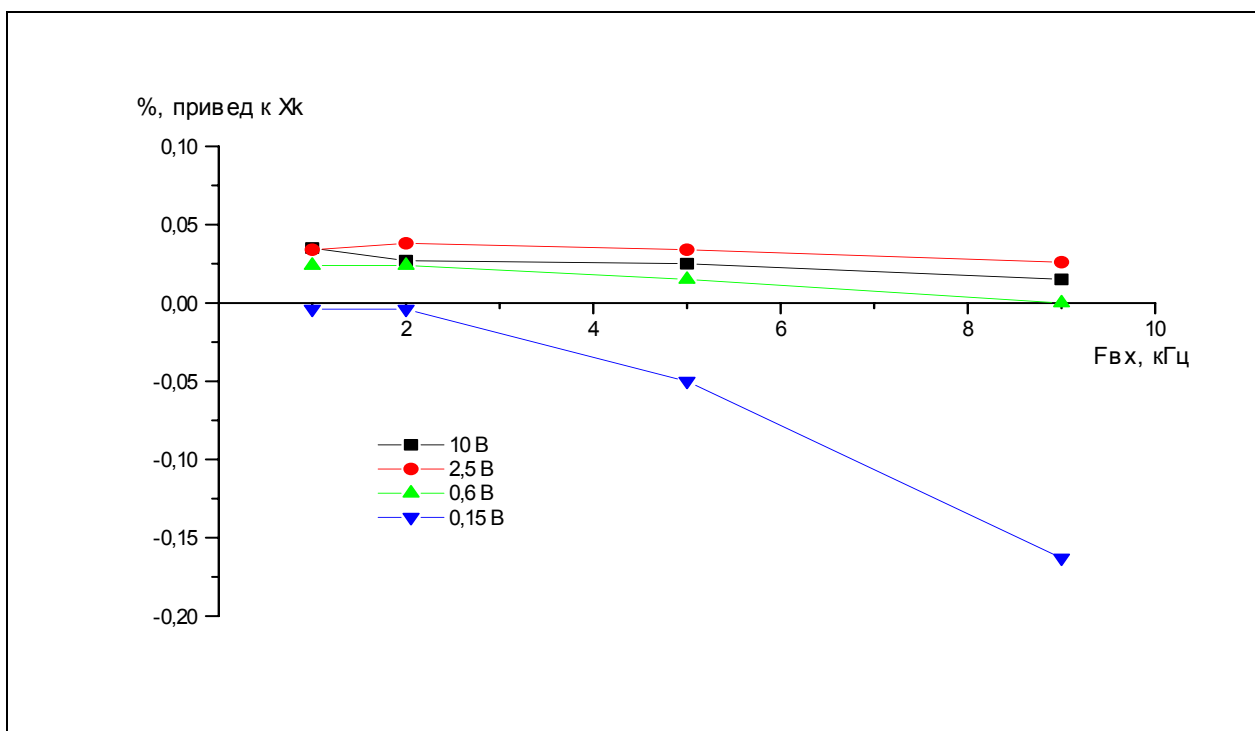


Рисунок 36

3.1.2 Частота дискретизации АЦП 100 кГц

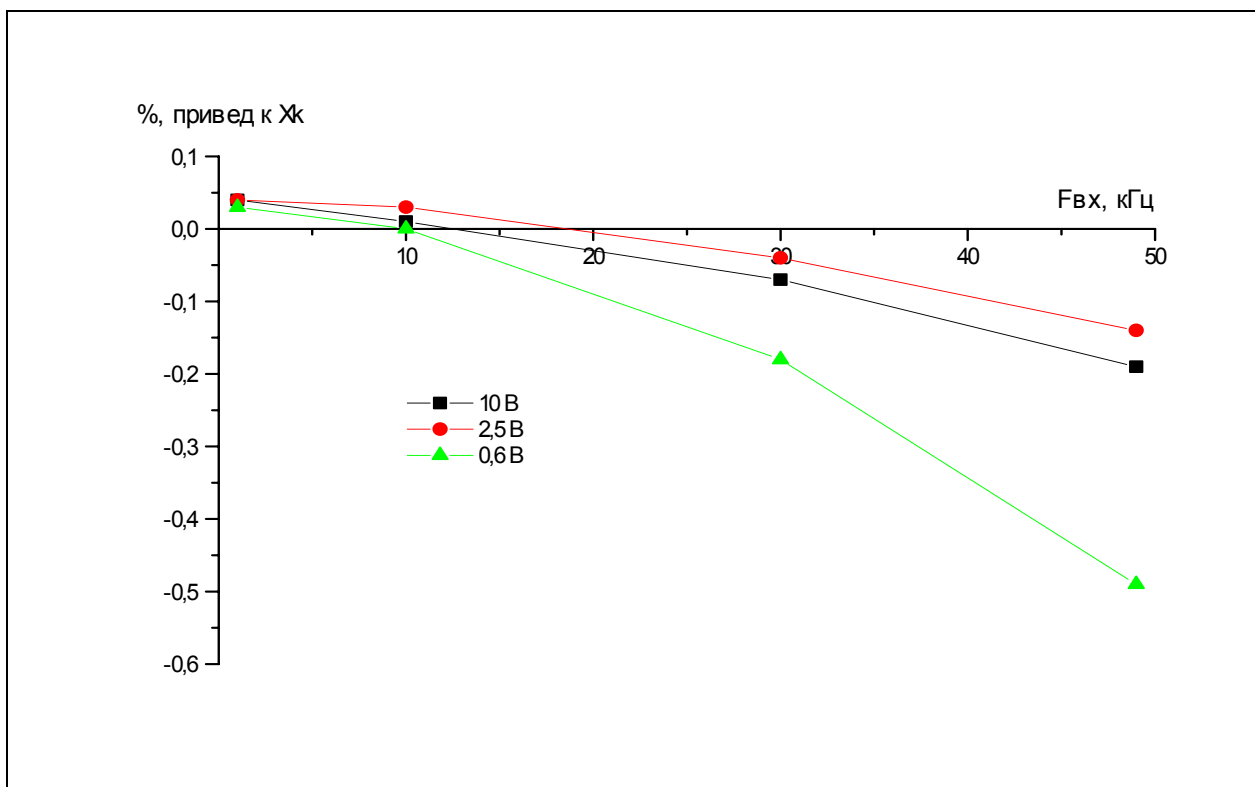


Рисунок 37

3.1.2 Частота дискретизации АЦП 400 кГц

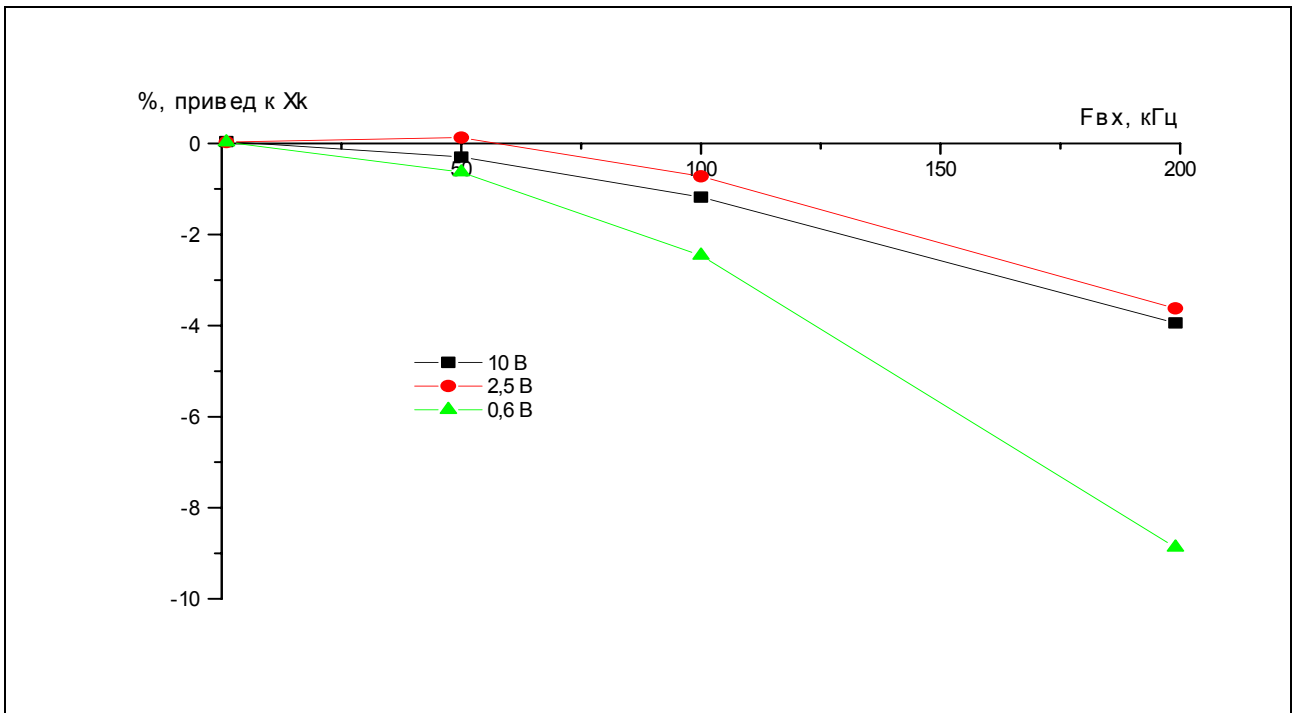


Рисунок 38

Результаты измерений в поддиапазоне 0,15 В см. на рис. 44.

3.2 АЧХ в многоканальном режиме (2 канала)

Вход второго канала замкнут «накоротко»

3.2.1 Частота дискретизации АЦП 20 кГц

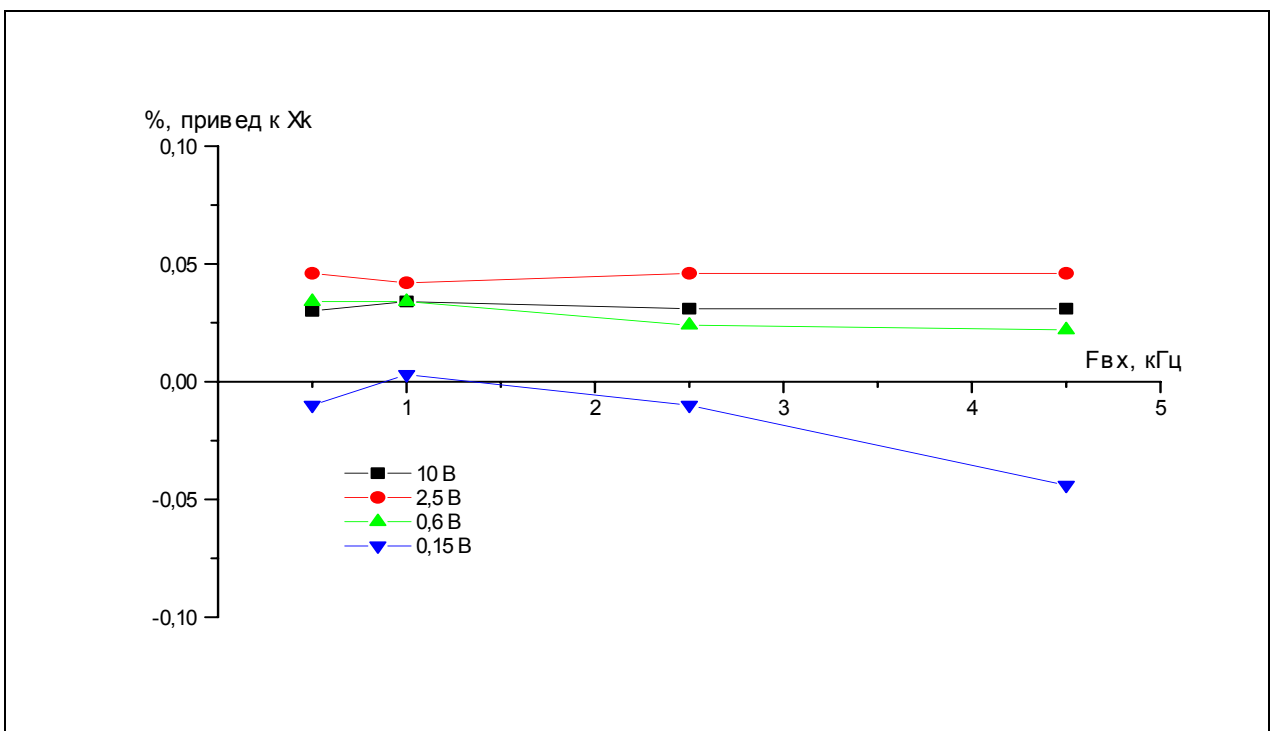


Рисунок 39

3.2.2 Частота дискретизации АЦП 100 кГц

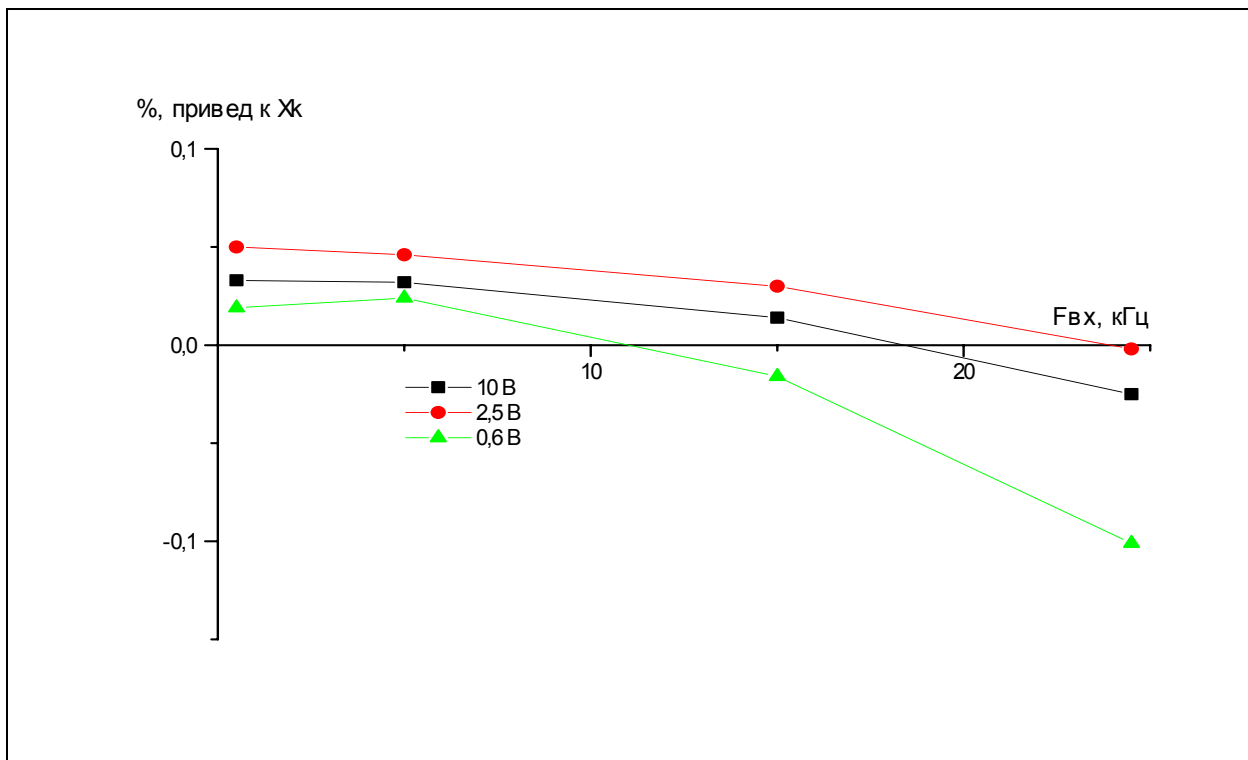


Рисунок 40

3.2.3 Частота дискретизации АЦП 400 кГц

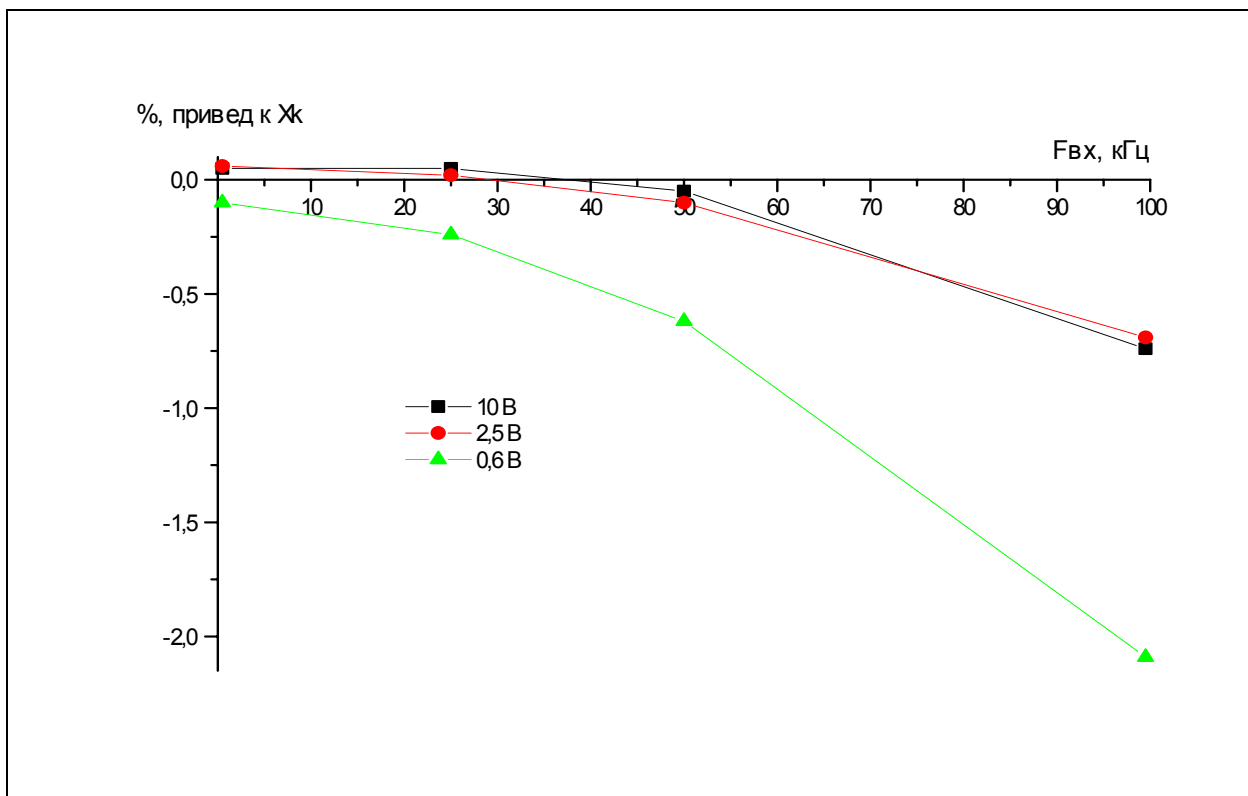


Рисунок 41

Результаты измерений в поддиапазоне 0,15 В см. на рис. 44.

3.3 Межканальное прохождение

Поддиапазоны в обоих каналах одинаковые. На вход первого канала подается синусоидальный сигнал амплитудой $0,95X_k$, вход второго канала подключен к резистору сопротивлением 680 Ом. Измеряется действующее значение напряжения во втором канале (за вычетом действующего значения напряжения шумов, измеренного при отсутствии сигнала).

3.3.1 Частота дискретизации АЦП 100 кГц

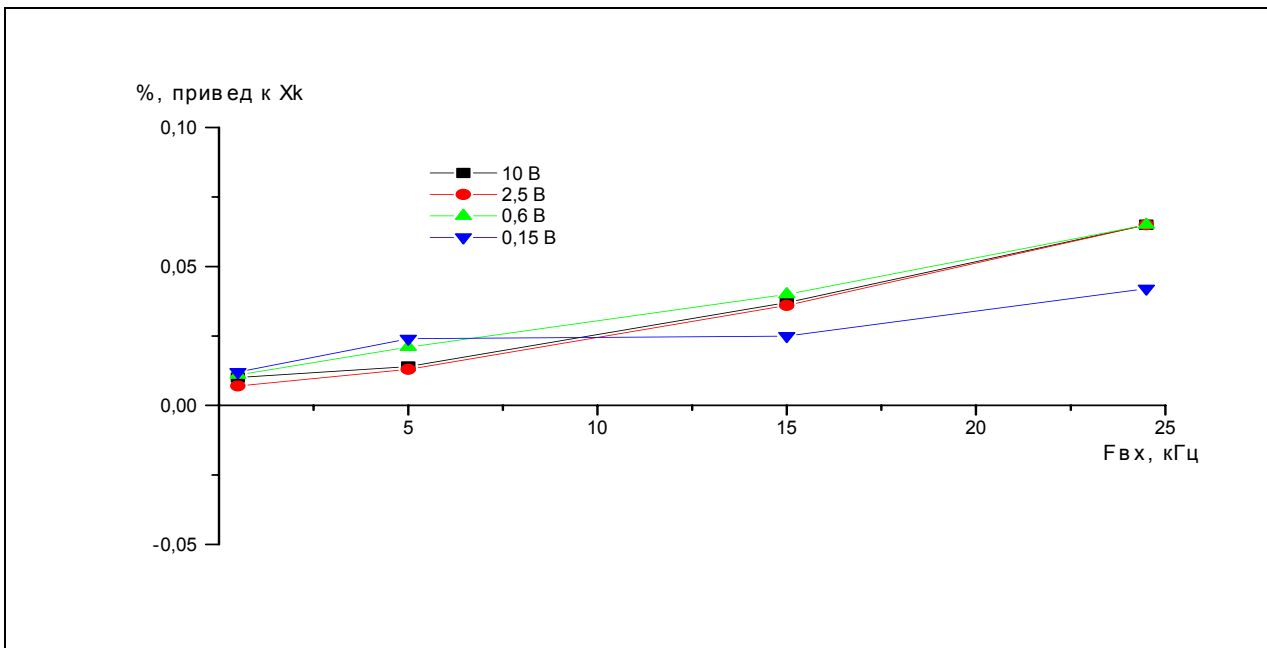


Рисунок 42

3.3.2 Частота дискретизации АЦП 400 кГц

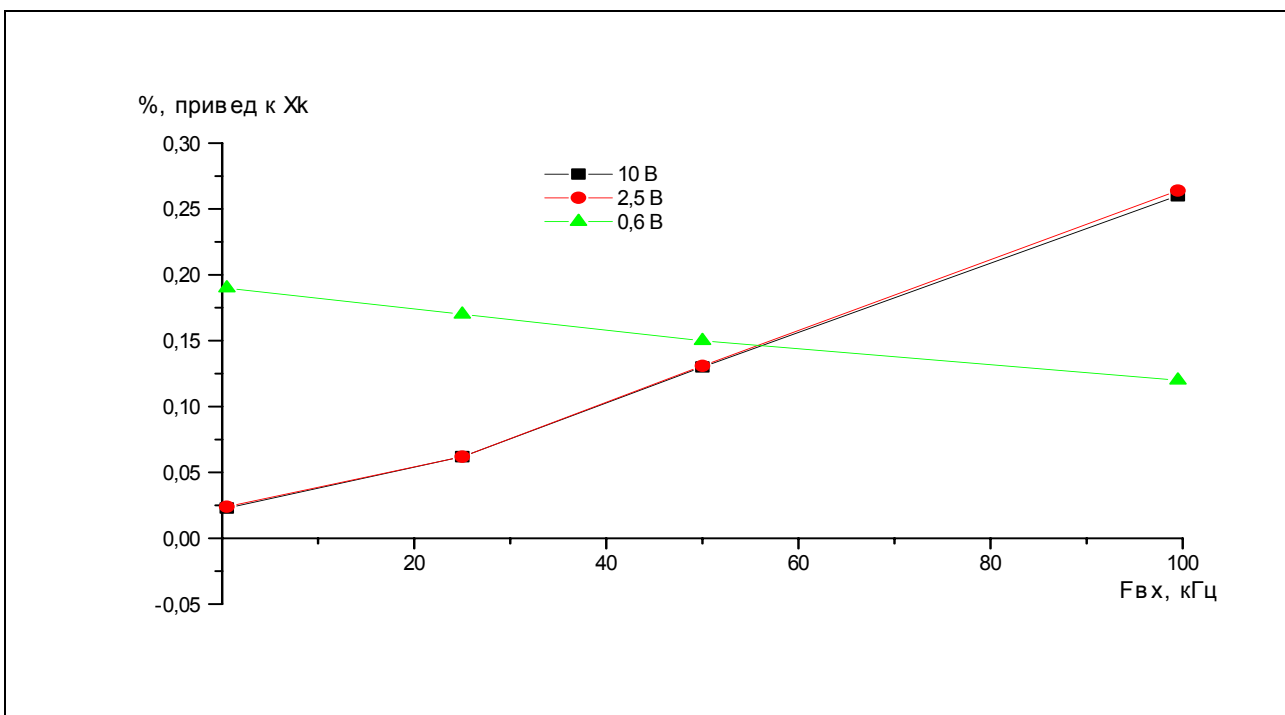


Рисунок 43

3.4 Поддиапазон 0,15 В

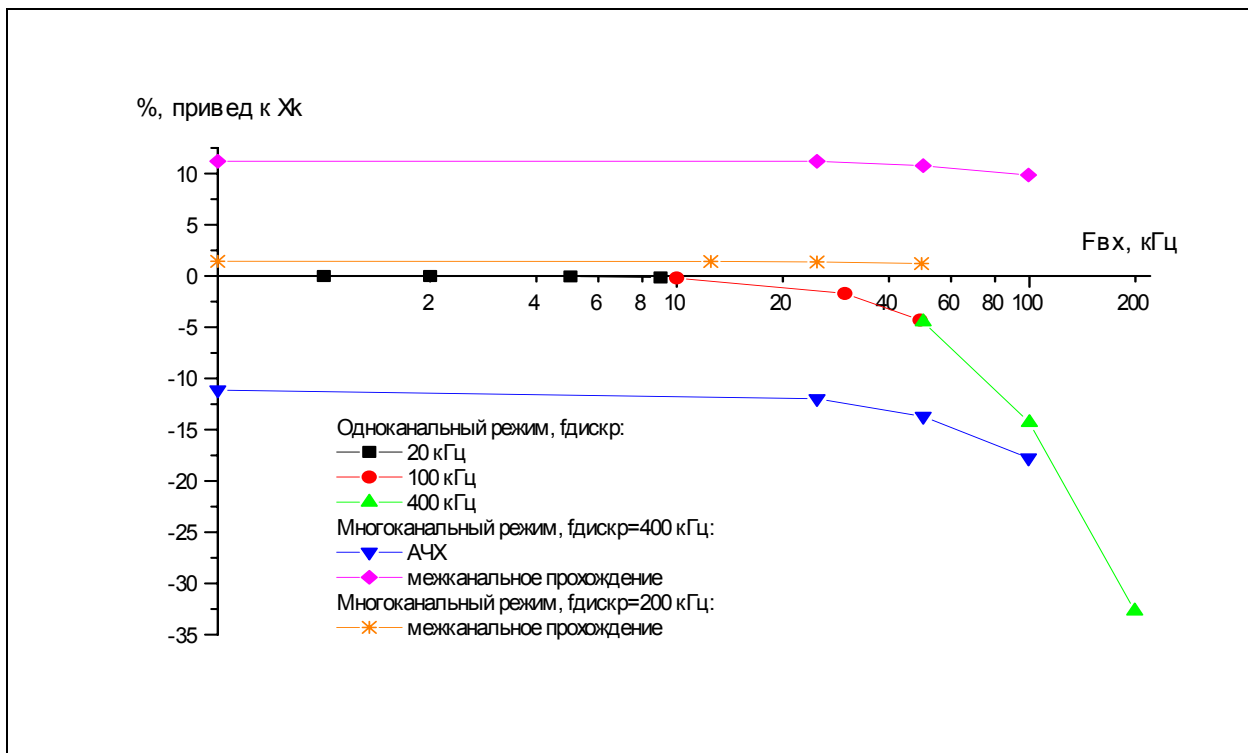


Рисунок 44 Масштаб по оси X – логарифмический

Нелинейность АЧХ в поддиапазоне 0,15 В (а также погрешность и межканальное прохождение при максимальной частоте дискретизации в многоканальном режиме) существенно выше, чем в остальных поддиапазонах. Причем, уровень сигнала, возникающего за счет межканального прохождения из первого канала во второй, совпадает (с поправкой на нелинейность АЧХ) со значением, на которое уменьшается при этом уровень сигнала в первом канале. Существенное межканальное прохождение (до ~10 %) в поддиапазоне 0,15 В при частоте дискретизации свыше 100 кГц делает проблематичным нормирование метрологических характеристик, если напряжение в одном из каналов в несколько раз превышает конечное значение указанного поддиапазона в другом канале. Из возможных вариантов решения этой проблемы:

- 1) выбор одинаковых поддиапазонов во всех каналах;
 - 2) отказ от нормирования погрешности в поддиапазоне 0,15 В при частоте дискретизации свыше 100 кГц,
- второй вариант является предпочтительным.

4. Измерение напряжения переменного тока Е14-140

4.1 АЧХ в одноканальном режиме

4.1.1 Частота дискретизации АЦП 20 кГц

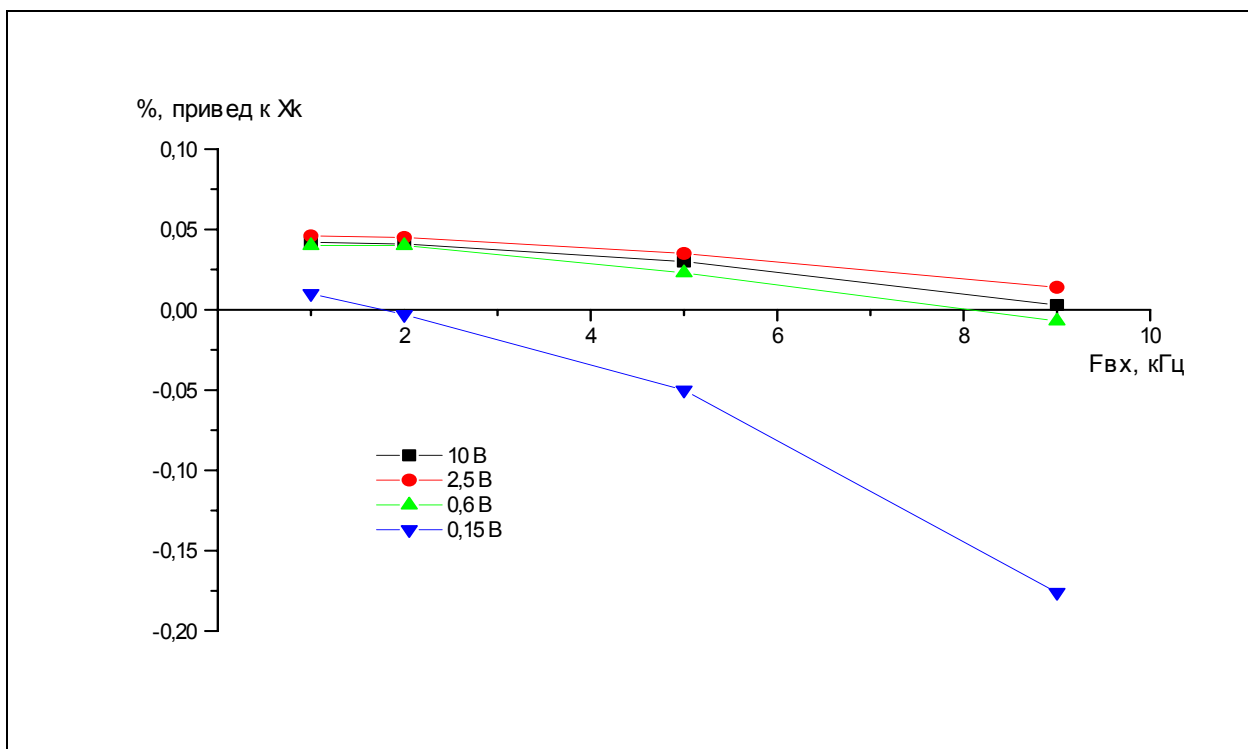


Рисунок 45

4.1.2 Частота дискретизации АЦП 100 кГц

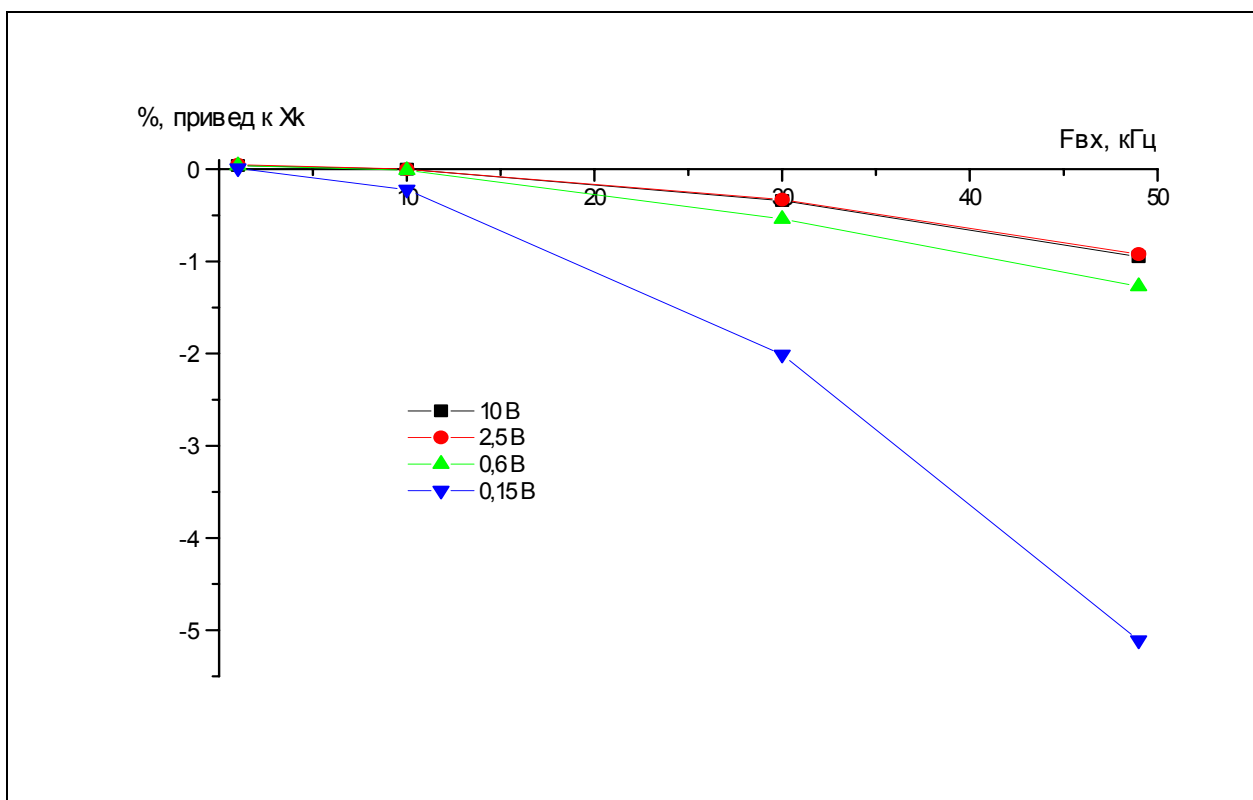


Рисунок 46

4.2 АЧХ в многоканальном режиме (2 канала)

4.2.1 Частота дискретизации АЦП 20 кГц

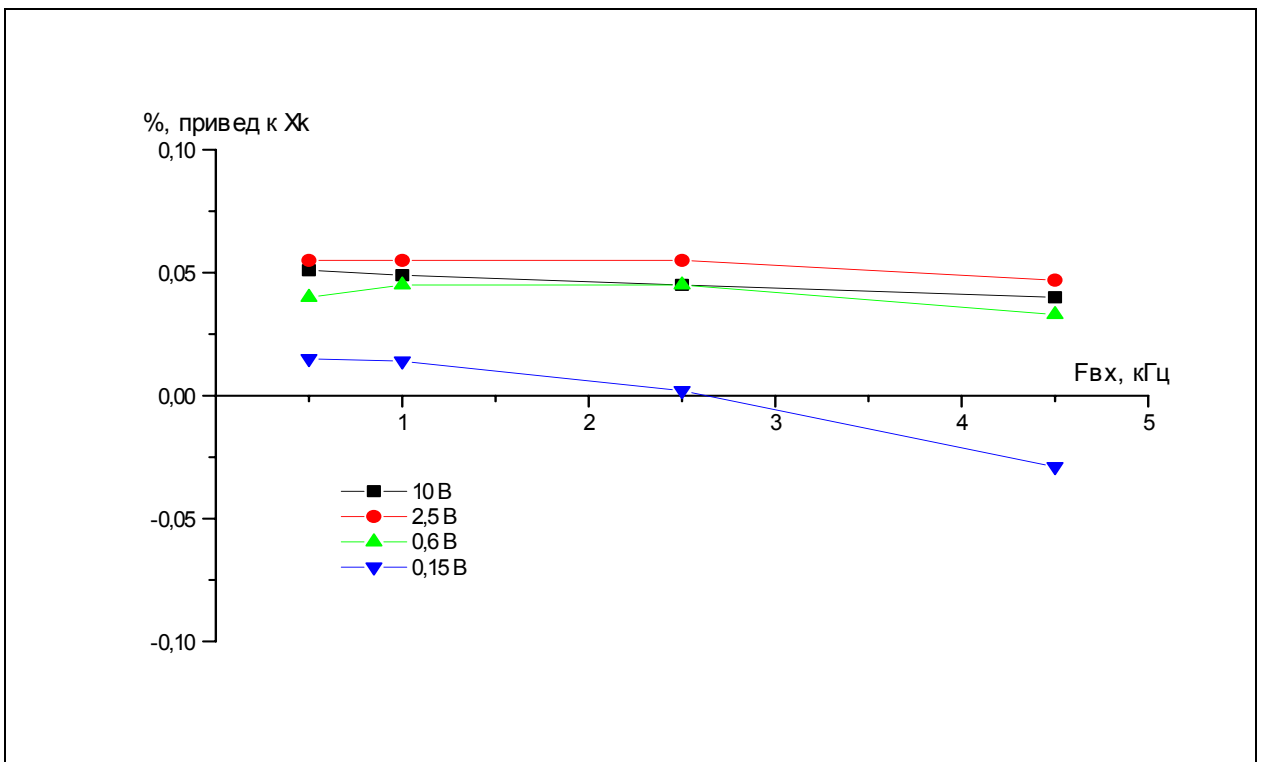


Рисунок 47

4.2.2 Частота дискретизации АЦП 100 кГц

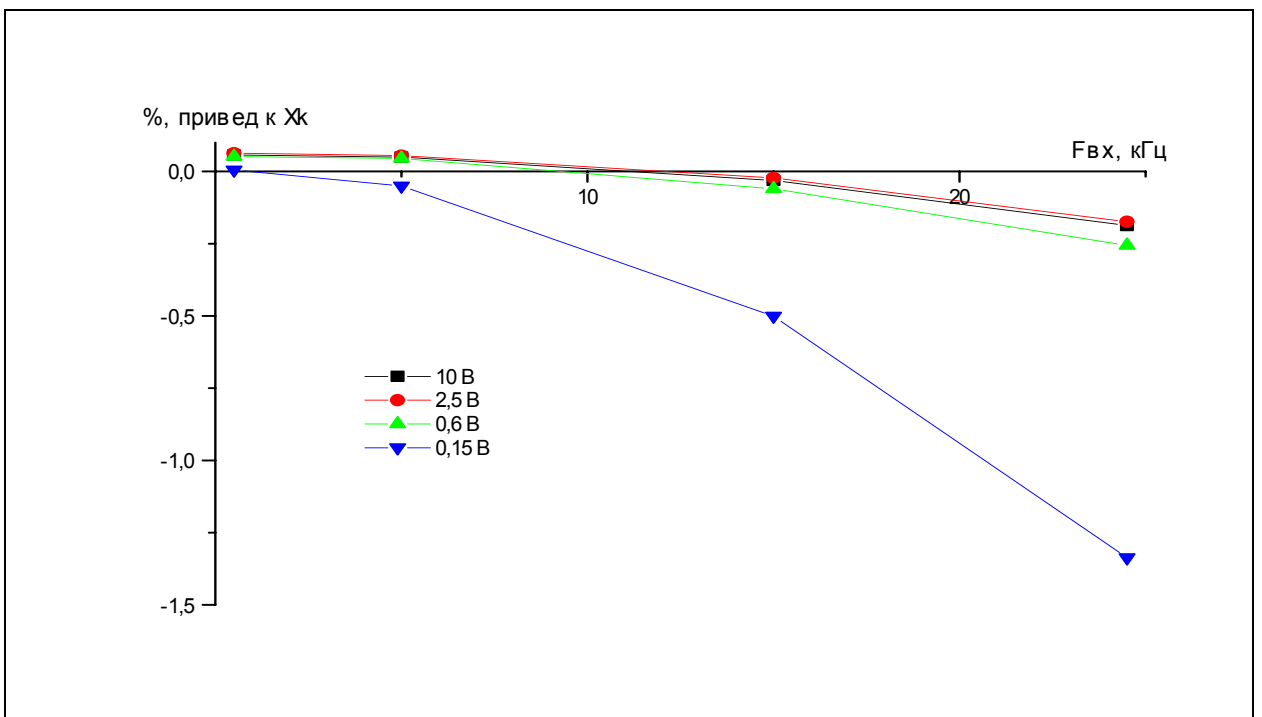


Рисунок 48