



УДК 62-791.2

УСТРОЙСТВО ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

С.А. Давиденко, sergey_davidenko.2020@mail.ru, С.А. Гладких gladkikh.sa@yandex.ru, А.М. Ланкин lankinjohn@yandex.ru

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова,
г. Новочеркасск

В данной статье рассматривается функциональная, структурная и принципиальная схемы устройства, основной задачей которого является измерение параметров электротехнических изделий. Проведено моделирование основных узлов устройства: измерительного усилителя тока, измерительного усилителя напряжения и блока питания. Приведены графики зависимостей параметров схемы в различных точках. Вычислены значения электротехнических параметров токоизмерительного шунта, а также элементов обвязки операционных усилителей для работы ОУ в заданных режимах. Использовано программное средство моделирования и симуляции электрических схем аналогового и цифрового характера - Micro-cap 9.

Ключевые слова: магнитная индукция, поддержание заданной ЭДС, электрическая схема, Micro-cap 9

DEVICE FOR MEASURING PARAMETERS OF ELECTRICAL PRODUCTS

S.A. Davidenko, S.A. Gladkikh, A.M. Lankin

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk

This article discusses the functional, structural and schematic diagrams of the device, the main task of which is to measure the parameters of electrical products. The main components of the device are modeled: the current measuring amplifier, the voltage measuring amplifier and the power supply unit. Graphs of the dependence of the circuit parameters at different points are given. The values of the electrical parameters of the current-measuring shunt, as well as the elements of the binding of operational amplifiers for the OP-AMP operation in the specified modes were calculated. A software tool for modeling and simulating analog and digital electrical circuits Micro-cap 9 was used.

Keywords: magnetic induction, maintenance of the set EMF, electrical circuit, Micro-cap 9

Структурная схема устройства измерения параметров электротехнических изделий представлена на рисунке 1 [1].

На рисунке 1 изображены: усилитель напряжения (УН); измерительные усилители (ИУ1, ИУ2); датчик тока (ДТ); персональный компьютер (ПК); плата ввода вывода (ПВВ); электротехническое изделие (ЭИ); универсальная последовательная шина (USB).

Усилитель (УН) предназначен для выработки напряжения, прикладываемого к ЭИ, в процессе его испытания. Усилитель ИУ1 предназначены для нормирования напряжения, прикладываемого обмотке ЭУ до уровня входного напряжения платы ввода вывода. Усилитель ИУ2 предназначены для нормирования, напряжения, пропорционального току протекающему в обмотке ЭИ до уровня входного напряжения платы ввода вывода. Датчик тока (ДТ) преобразует значение тока, протекаемого в обмотке ЭИ в напряжение. Компьютер (ПК) вырабатывает управляющие сигналы и регистрирует параметры ЭИ. Плата ввода вывода (ПВВ) предназначена для преобразования измеренных электрических величин из аналогового в цифровую форму и передачи полученного кода в ПК, а также для преобразования цифровых управляющих сигналов в аналоговые и передачи их на УН. ПВВ связано с ПК при помощи USB интерфейса.

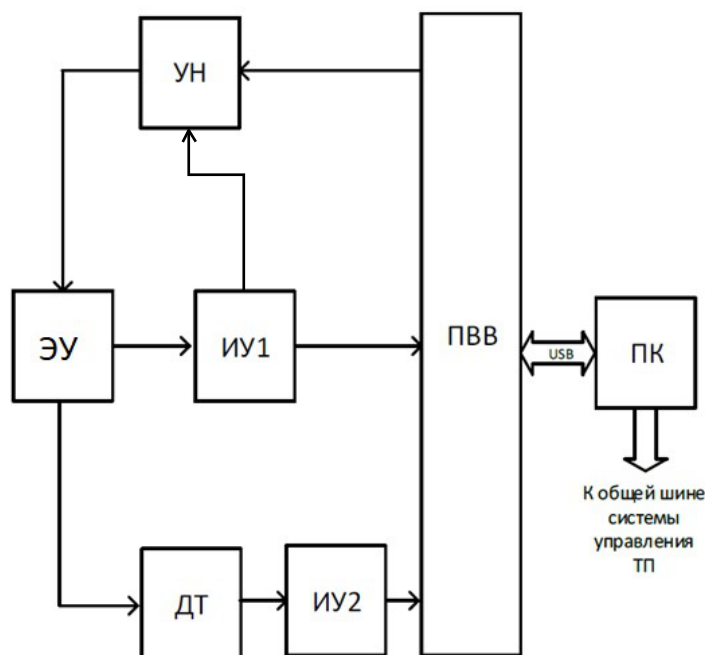


Рис. 1. – Структурная схема устройства для измерения параметров электротехнических изделий

Функциональная схема устройства для измерения параметров электротехнических изделий на рисунке 2 [2].

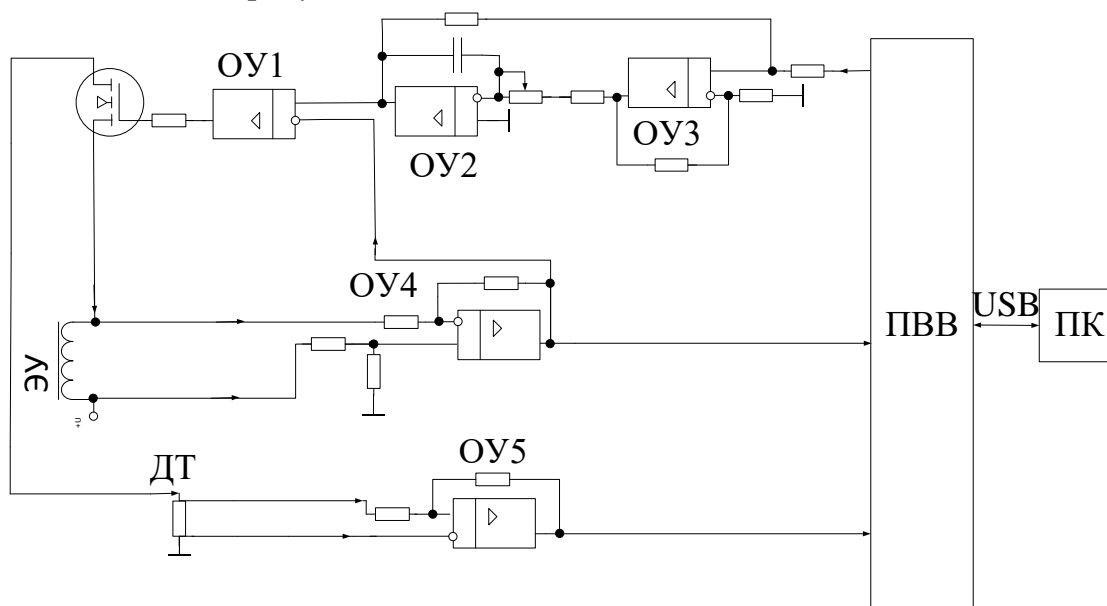


Рис. 2. - Функциональная схема устройства для измерения параметров электротехнических изделий

На рисунке 2 изображены: усилитель напряжения (УН), состоящий из элементов ОУ1 – ОУ3, измерительные усилители напряжения и тока (ОУ4, ОУ5); датчик тока (ДТ); персональный компьютер (ПК); плата ввода вывода (ПВВ); универсальная последовательная шина (USB).

Для определения характеристик ЭИ (на рисунке 2 представлено в виде катушки с сердечником), с ПК подается управляющее воздействие в виде цифро-



вого сигнала через последовательный интерфейс USB на ПБВ, где он преобразуется в аналоговый сигнал и далее усиливается на УН. Выходное напряжение УН прикладывается к обмотке ЭИ, сердечник которого перемагничивается по петле гистерезиса. Измерительный усилитель напряжения на ОУ4 нормирует напряжение с обмотки ЭИ до уровня входного напряжения ПБВ. На ДТ происходит преобразование тока, протекающего в ЭИ, в напряжение. Далее это напряжение нормируется на измерительном усилителе тока на ОУ5 до уровня входного напряжения ПБВ. Оба измерительных сигнала, поступивших на ПБВ, преобразуются в цифровую форму и передаются на ПК по интерфейсу USB. Кроме напряжения, с выхода измерительного усилителя на ОУ4 поступает сигнал на инвертирующий вход ОУ1 блока УН, за счет чего обеспечивается обратная связь по напряжению.

Принципиальная схема устройства представлена на рисунке 3:

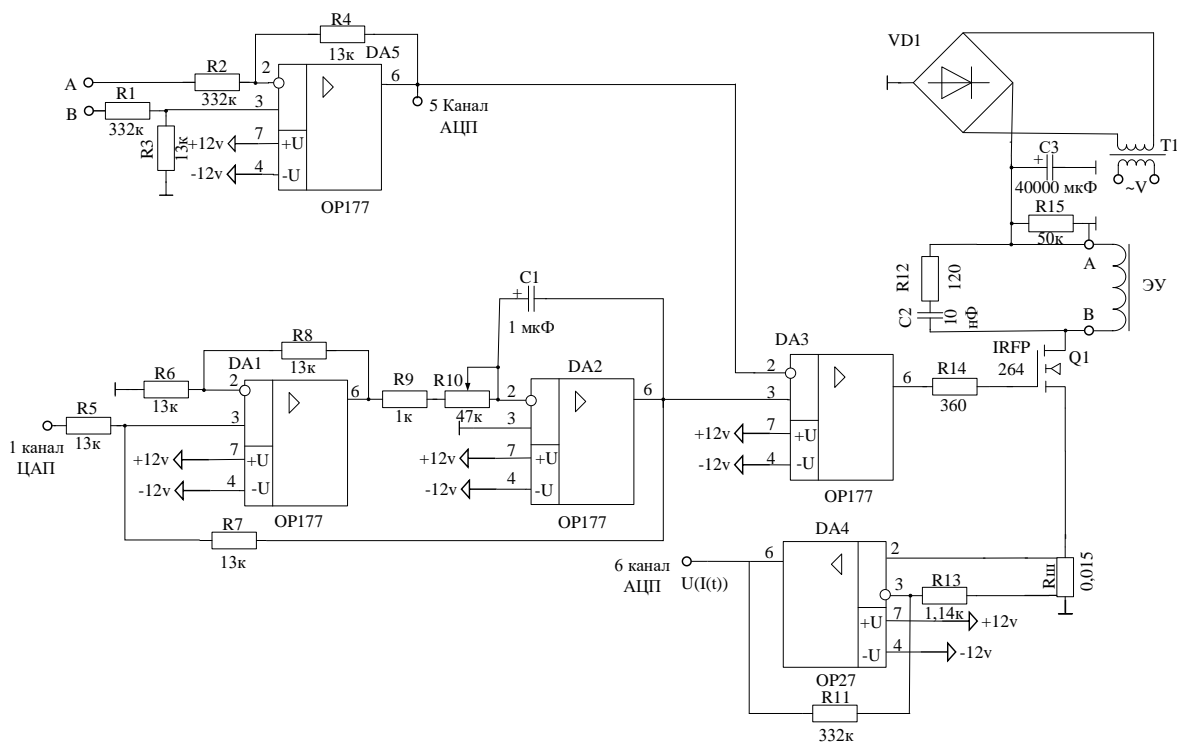


Рис. 3. - Принципиальная схема устройства

На рисунке 3 изображены: *IRFP 264* - *n*-канальный мосфет транзистор; *OP177* - ультрапрецизионные операционные усилители (*DA1 - DA4*); *OP27* - малощумящий прецизионный операционный усилитель (*DA5*); *Rш* – измерительный шунт; *VD1* - диодный мост; *T1* - трансформатор напряжения.

Все остальные элементы играют второстепенную роль, но при этом также важны в работе устройства. Рассмотрим силовую часть конструкции. Как видно из схемы, напряжение питания поступает на трансформатор *T1*, где происходит преобразование напряжения. После этого сигнал выпрямляется на диодном мосте *D1* и фильтруется конденсатором большой емкости на 40000 мкФ. В целях безопасности был поставлен разрядный резистор на 50кОм. Далее напряжение поступает на электротехническое устройство, представленное катушкой с сердечником и на ее активно-емкостной фильтр. Управление подачей напряжения



на электротехническое устройство осуществляет мосфет транзистор *IRFP 264*, выполняющий роль ключа.

Рассмотрим часть схемы, отвечающую за управление током в обмотке ЭИ. На неинвертирующий вход *DA1* поступает сигнал с 1 канала ЦАП, который усиливается на *DA1*. Коэффициент усиления задается резистором, соединяющим инвертирующий вход *DA1* и его выход. С выхода *DA1* сигнал поступает на низкочастотный регулируемый *RC* фильтр, после чего вновь видоизменяется на *DA2*. Сигнал с выхода *DA2* поступает на неинвертирующий вход *DA3*, где сравнивается с сигналом, приходящим с выхода *DA4*. Эта цепь выполняет роль обратной связи силовой части схемы по напряжению. Кроме того, выход *DA4* одновременно является входом для подключения анализируемого сигнала, являющегося одной из исследуемых характеристик устройства. Этот сигнал формируется за счет шунтирующей системы: на концах шунтирующего резистора формируется напряжение, которое имеет прямую взаимосвязь с протекающим в схеме электрическим током. Относительно этой величины напряжения и возможен прием сигнала на АЦП. Также напряжения с *R_ш* усиливается на *DA4*. Для анализа напряжения на электротехническом устройстве применяется схема, основой которой является *DA5*. Клеммы А и В подключаются к выводам катушки с сердечником. Напряжение с катушки ЭИ через делитель напряжения поступает на неинвертирующий сигнал *DA4*, где он усиливается и поступает на АЦП.

Схема (рисунок 4) представляет собой блок питания, обеспечивающий устройству стабильные параметры тока и напряжения в пределах 18В, 10А.

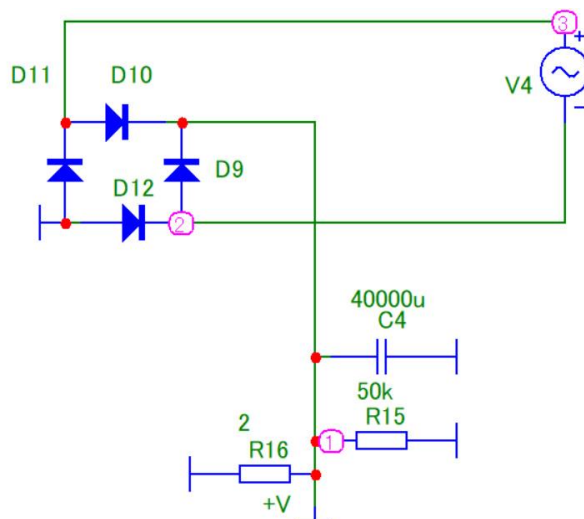


Рис. 4. - Принципиальная схема блока питания в среде *Micro-cap*

На рисунке 4 изображены: *V4* - источник синусоидального напряжения; *D9*, *D10*, *D11*, *D12* - диоды 20SLQ045, образующие диодный мост; *C4*- конденсатор 40000 мкФ; *R15*- разрядный резистор; *R16*- сопротивление нагрузки.

Рассмотрим характеристики схемы, представленные в таблице 1.

В таблице 1 столбцы обозначают следующее: *R* - сопротивление нагрузки; *U* - выходное напряжение; *U_{пульс}* - значения пульсаций выходного напряжения; *I* - ток, протекающий через сопротивление нагрузки.



Значения тока и напряжения при различных значениях нагрузки

$R, \text{Ом}$	$U, \text{В}$	$U_{\text{пульс.}}, \text{В}$	$I, \text{А}$
10	18,73	0,09	1,864
9	18,705	0,1115	2,066
8	18,655	0,125	2,316
7	18,635	0,135	2,643
6	18,555	0,155	3,074
5	18,515	0,185	3,665
4	18,39	0,24	4,557
3	18,265	0,305	5,985
2	17,995	0,415	8,789
1,9	17,92	0,48	9,18

Построен график зависимости напряжения от тока, позволяющие оценить линейность характеристик блока питания, изменяя сопротивление нагрузки в допустимых пределах (рисунок 5).

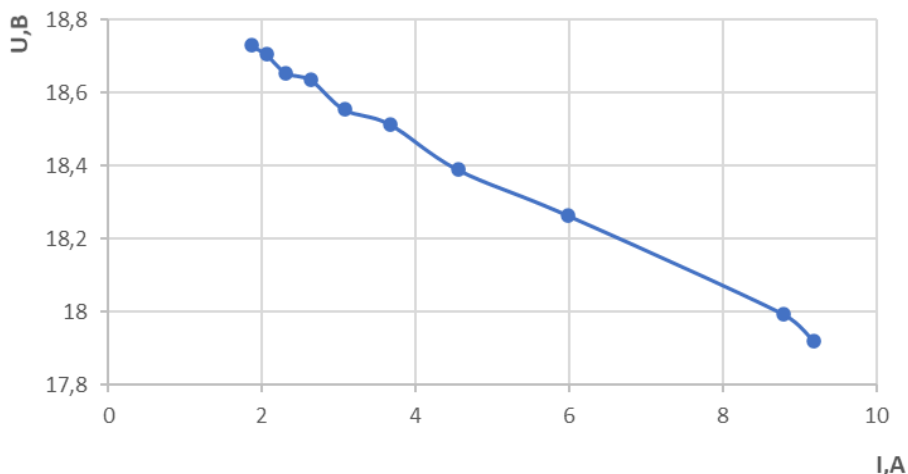


Рис. 5 - График зависимости выходного напряжения от тока нагрузки

Для наглядной работы блока питания построим зависимость пульсаций напряжения от тока нагрузки (рисунок 6).

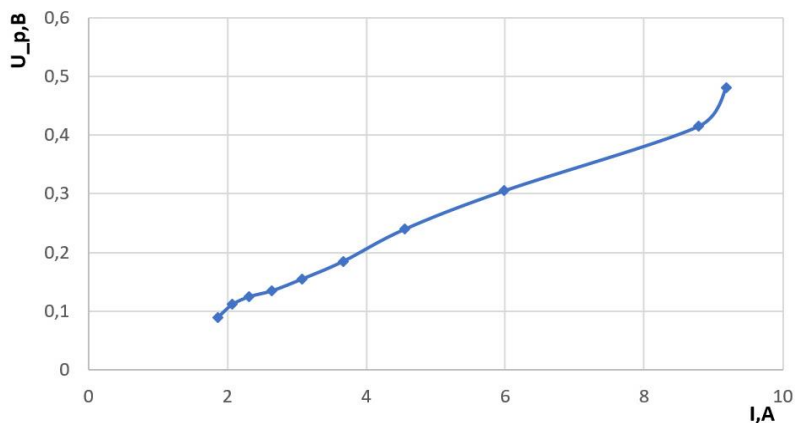


Рис. 6 - График зависимости пульсаций выходного напряжения от тока нагрузки



Исходя из приведенных данных делаем вывод, что спроектированный блок питания соответствует ожидаемым параметрам.

На рисунке 7 представлена модель измерительного усилителя тока.

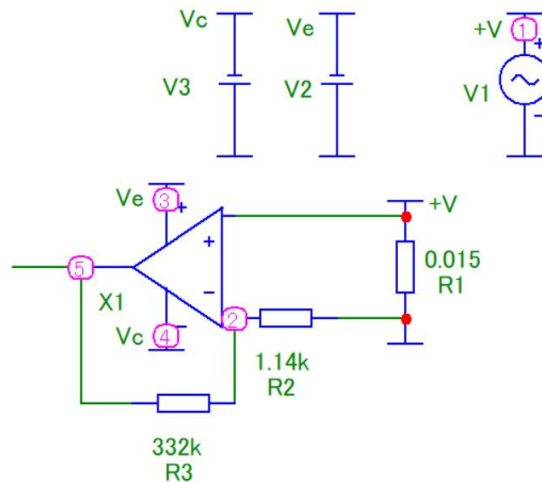


Рис. 7 - Принципиальная схема измерительного усилителя тока в среде Micro-cap

На рисунке 7 изображены: V2, V3 - источники питания ОУ; V1- источник синусоидального входного напряжения; X1 - операционный усилитель OP27; R1 - шунтирующий токоизмерительный резистор; R2 - входной токоограничивающий резистор; R3- резистор обратной связи.

Входной сигнал, протекая через R1 создает на нем падение напряжения, которое линейно зависит от тока. Это напряжение попадает на входы ОУ, где происходит его усиление. Это видно (рисунок 8) по амплитудным значениям сигнала V1 и V5.

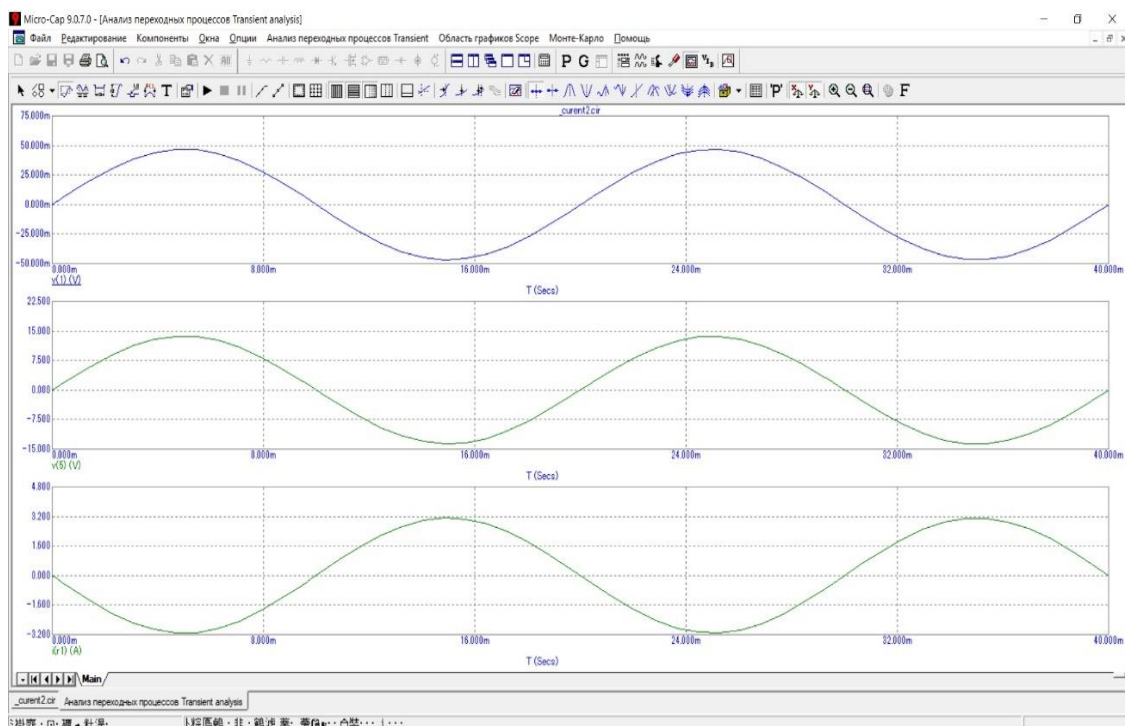


Рис. 8 - Графики зависимости параметров схемы в различных точках



Зная номиналы сопротивлений входного резистора и резистора обратной связи, рассчитаем коэффициент ослабления [2]:

$$k = \frac{R_{oc}}{R_{rx}};$$
$$k = \frac{332}{1,14} = 291,23.$$

Рассчитаем пиковое значение напряжения, полученное с токоизмерительного шунта.

$$I = \frac{U}{R} \rightarrow U = IR;$$
$$U_{BX} = 3,115 * 0,015 = 0,0467V.$$

Зная входное напряжение и коэффициент усиления, найдем величину выходного напряжения:

$$U_{ВЫХ} = 0,0467V * 291,23 = 13,6V.$$

Полученное значение совпадает со значением на графике (рисунок 8).

Данная схема (рисунок 9) представляет собой измерительный усилитель напряжения, основой которого является операционный усилитель X1.

Входной сигнал, попадает на входы ОУ, где происходит его нормирование.

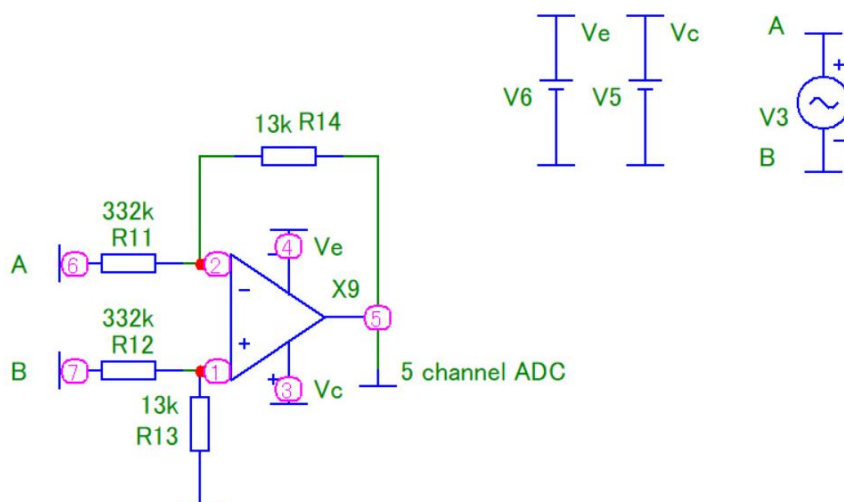


Рис. 9 - Принципиальная схема измерительного усилителя напряжения в среде Micro-cap

Это видно (рисунок 10) по амплитудным значениям сигнала V(V3) и V5.

Зная номиналы сопротивлений входного резистора и резистора обратной связи, рассчитаем коэффициент ослабления:

$$k = \frac{R_{oc}}{R_{rx}};$$
$$k = \frac{13}{332} = 0,04.$$

Зная входное напряжение и коэффициент ослабления, найдем величину выходного напряжения:

$$U_{ВЫХ} = U_{BX} * k;$$
$$U_{ВЫХ} = 0,04 * 5 = 0,2.$$

Полученное значение совпадает со значением на графике (рисунок 10).

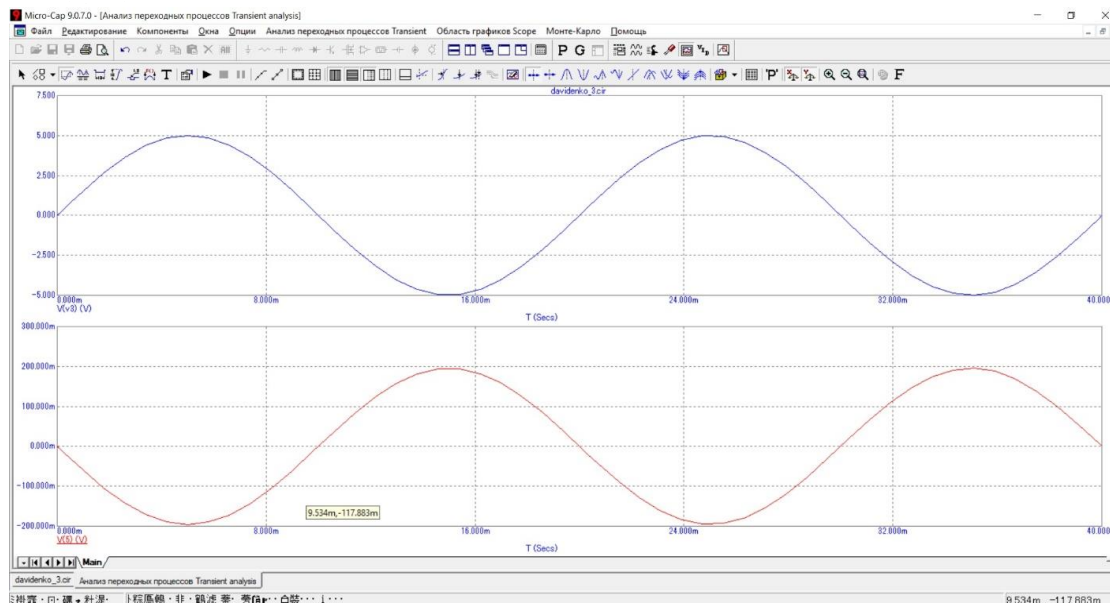


Рис. 10 - Графики зависимости напряжений схемы в различных точках

Список используемой литературы

1. А. М. Ланкин. Метод и устройство экспресс-контроля электротехнических параметров для систем управления производством пропорциональных электромагнитов: дис. на соискание уч. ст. канд. тех. наук. Новочеркасск, 2017. – 168 с.
2. Лачин В.И., Электроника: [книга]/В.И. Лачин, Н.С. Савелов, Ростов-на-Дону: Феникс 2007. – 704 с.;
3. Узлы электронных схем: [электронный ресурс]. Режим доступа: URL: http://zpostbox.ru/kaskadnoye_vklyucheniye_operatsionnykh_usiliteley.html.свободный; (Дата обращения: 18.07.2020)
4. Артем Кашканов, Датчики и микроконтроллеры. Часть 3. Измеряем ток и напряжение, Хабр, 2015: [статья]. Режим доступа: URL: <https://habr.com/ru/post/260639/>.свободный. (Дата обращения: 18.07.2020).