

СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ НОВЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Ларина Е.Ю.

Донецкий национальный технический университет, факультет КИТА, кафедра ЭТ

Abstract

Larina E.Yu. The system for computer-aided design of new measuring of the parameters electric machines. The example of planing of measuring channels of current and tension with the use of computer-aided design is considered in the article.

Постановка проблемы и ее актуальность. Совершенствование элементной базы средств микроэлектроники и вычислительной техники позволяет повысить точность и быстродействие средств измерения параметров и защиты асинхронных двигателей (СИЗ АД) [1]. Это позволит использовать их в системах управления и регулирования режимами работы АД для поддержания номинальных параметров и, тем самым, использования назначенного ресурса, что является весьма актуальной задачей, так как АД в реальных условиях зачастую работают в аномальных режимах [2]. Проектирование средств измерения параметров и защиты асинхронных двигателей (СИЗ АД) требует трудоемких расчётов и экспериментальных исследований. С некоторыми допущениями эту задачу можно решить путем автоматизированного проектирования с использованием современных пакетов прикладных программ (ППП), например, MathCAD, Electronics Workbench, Power System Blockset. На рис. 1 показана принципиальная схема базового варианта измерительного модуля для каждой фазы АД.

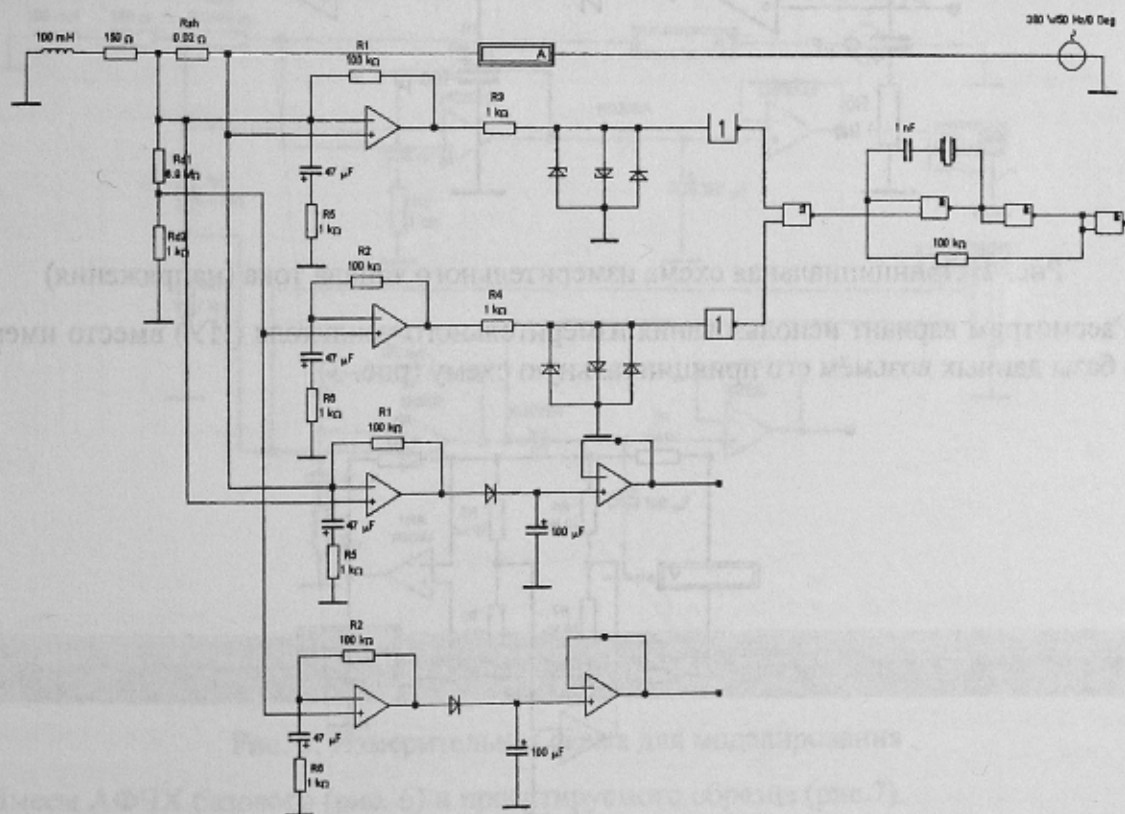


Рис. 1. Принципиальная схема модуля СИЗ АД для одной фазы

СИЗ АД предназначена для измерения напряжения, тока и сдвига фаз между ними - $\cos\phi$ и сопротивления изоляции обмоток в паузах между включениями АД. Получая эти данные, анализируя их и сравнивая с номинальными значениями, можно определять состояние режимных параметров и осуществлять оптимальное управление АД, при котором параметры АД соответствуют номинальным, что является актуальной задачей для многодвигательных комплексов, так как гарантирует бесперебойную работу исполнительных механизмов.

Цель исследования. Для каждой фазы необходимо устройство, состоящее из 5-ти измерительных каналов: тока, напряжения, сдвига фаз между ними, сопротивления изоляции обмоток $R_{из}$ и скорости вращения выходного вала АД. Применим систему автоматизированного проектирования измерительных каналов - САПР СИЗ АД измерительных каналов (ИК).

Постановка задачи исследования. Задача САПР ИК СИЗ АД состоит в получении оптимальной схемы, обеспечивающей быстродействие $\tau_A(\tau_B) \leq 40$ мс, уровни сигналов на выходе преобразовательных элементов должны обеспечивать диапазон измерения тока от 0 до 25 А с абсолютной погрешностью $\Delta I \leq 10$ мА.

Анализ известных решений. Известные средства защиты не позволяет выполнять функции, связанные с оптимизацией системы управления и защитой асинхронного электродвигателя от режимов работы, в которых его параметры отличаются от номинальных. Анализ ИК, выполнен с помощью ППП Electronics Workbench 5.12 [3].

Основной материал и результаты исследования. Для решения задачи САПР составим базу данных с атрибутивной и функциональной спецификацией и найдём их соответствие. С помощью ППП EWB 5.12 имеем следующую принципиальную схему (рис. 2).

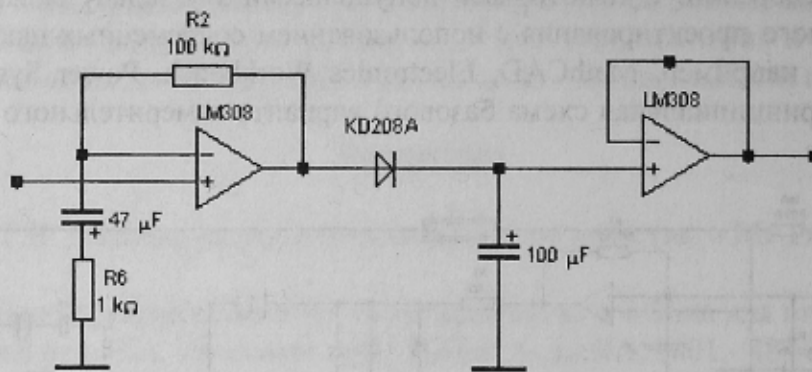


Рис. 2. Принципиальная схема измерительного канала тока (напряжения)

Рассмотрим вариант использования измерительного усилителя (ИУ) вместо имеющегося. Из базы данных возьмём его принципиальную схему (рис. 3).

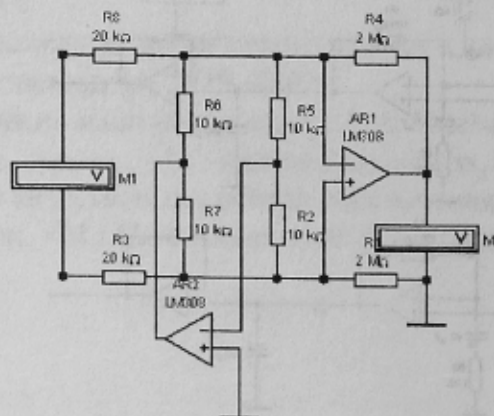


Рис. 3. Принципиальная схема измерительного усилителя

Осциллограмма напряжения на входе измерительного усилителя показана на рис. 4.

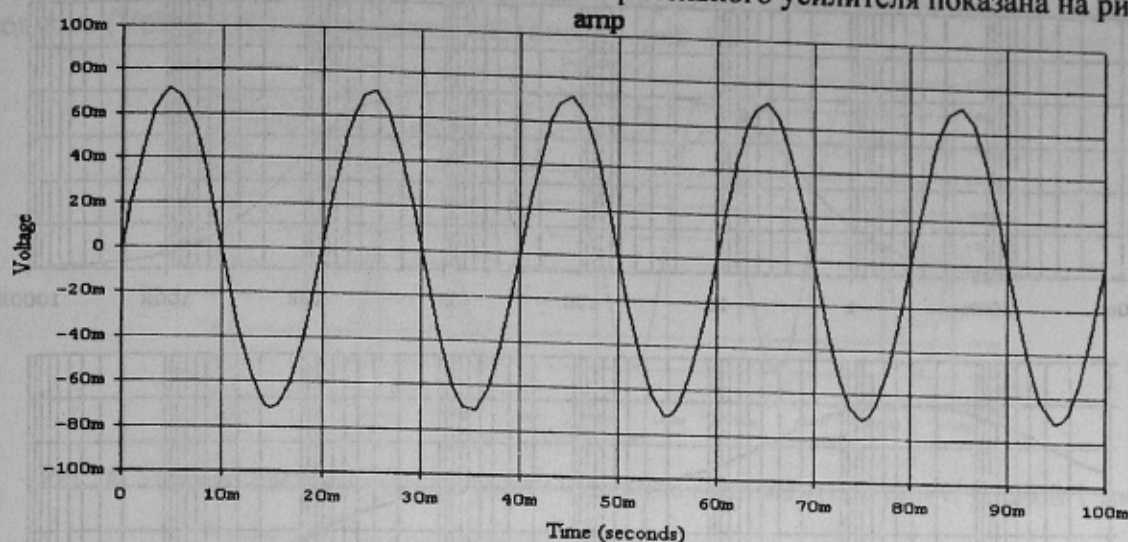


Рис. 4. Осциллограмма напряжения на входе измерительного усилителя

Сравним АФЧХ прототипа и проектируемого звена. С помощью меню Analysis выбираем процедуру AC Frequency или воспользуемся измерительной схемой (рис. 5.).

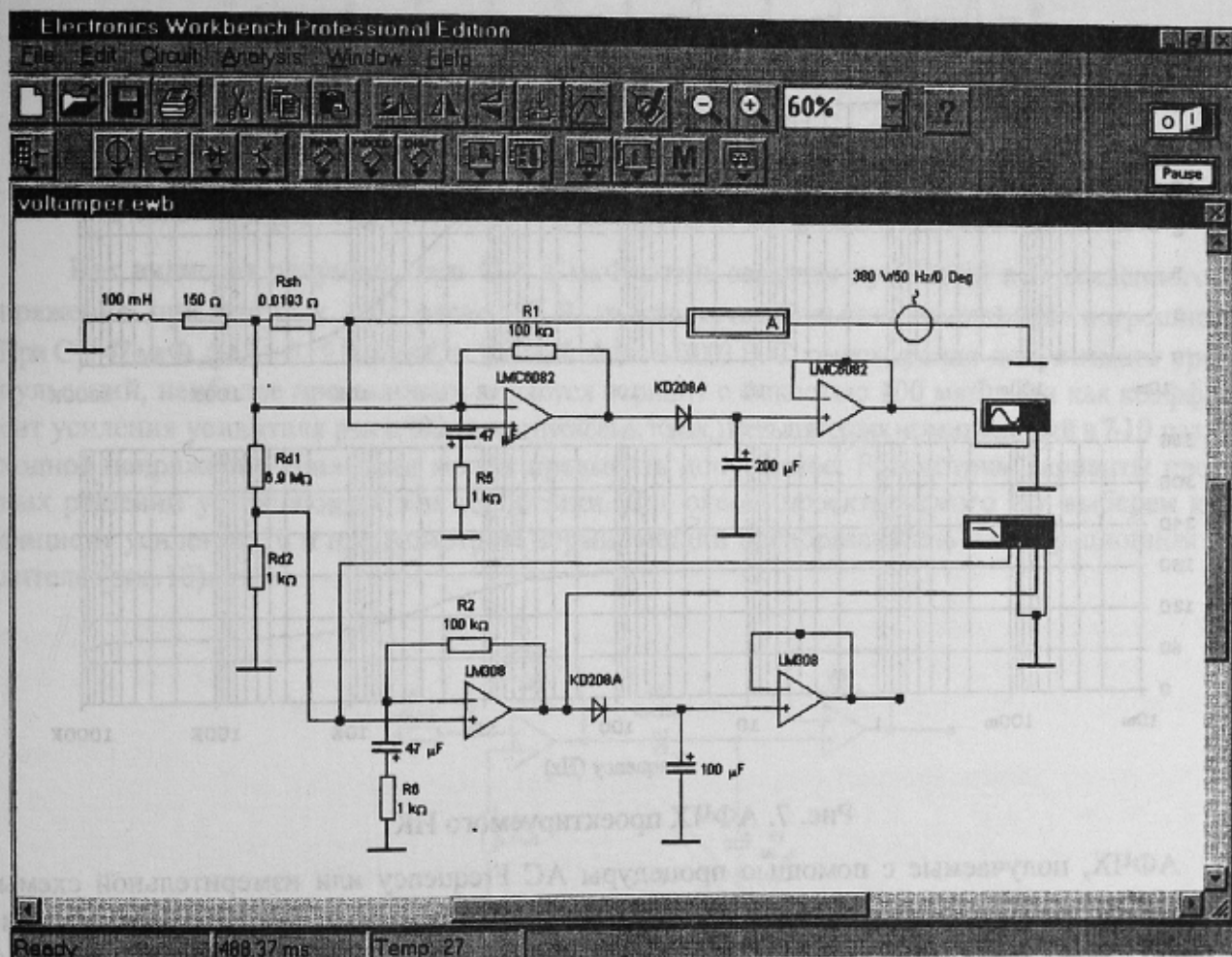


Рис. 5. Измерительная схема для моделирования

Имеем АФЧХ базового (рис. 6) и проектируемого образца (рис.7).

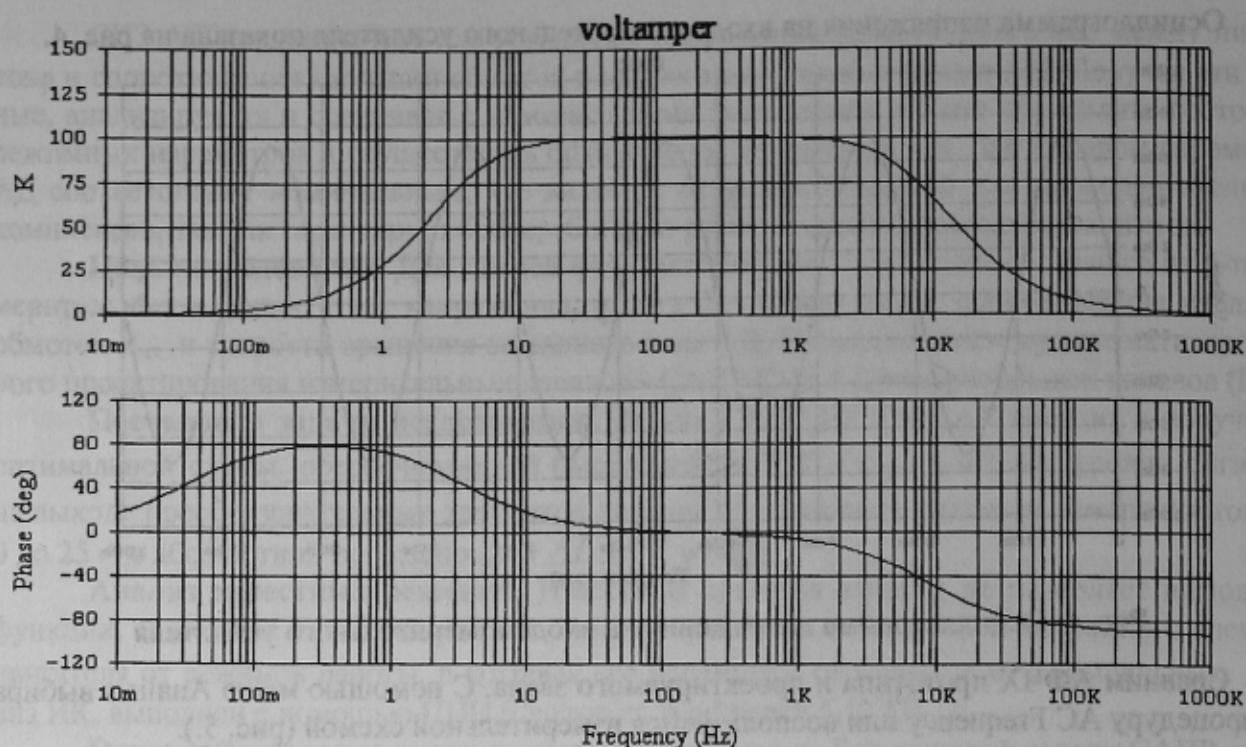


Рис. 6. АФЧХ базового образця

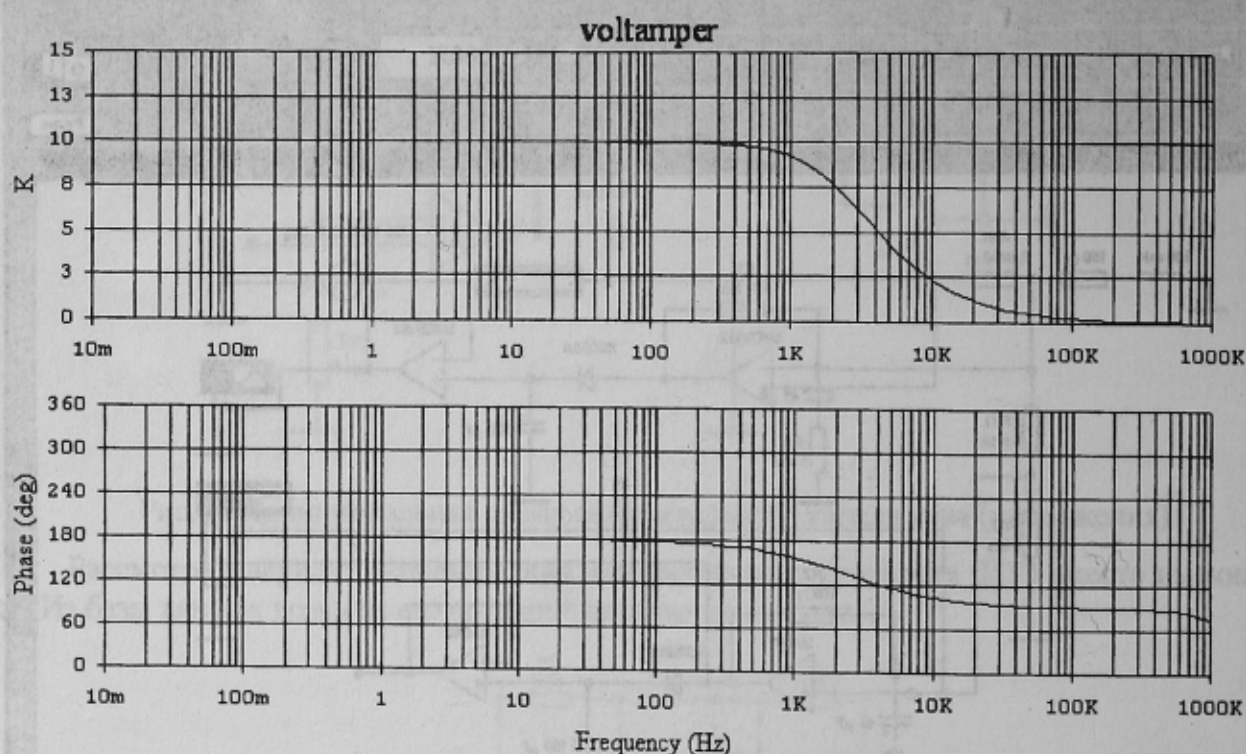


Рис. 7. АФЧХ проектуемого ИК

АФЧХ, получаемые с помощью процедуры AC Frequency или измерительной схемы, имеют некоторые отличия. Для доказательства адекватности СИЗ АД необходима экспериментальная доводка образця. Условия безыскаженной передачи информации выполняются в пределах изменения амплитуды от 30 до 7000 Гц, а фаза не достаточно пропорциональна. АФЧХ (рис. 7) более удовлетворяет поставленным требованиям, так как изменение амплитуды линейно в пределах от 0 до 2500 Гц и фаза линейна. Следовательно, схема проектируемого канала предпочтительна прототипу. Выполним моделирование всего ИК для этих вариан-

тов. Для базового образца имеем следующий характер изменения входного (Voltage(B)) и выходного (Voltage(A)) напряжения ИК (рис. 8 – рис. 9).

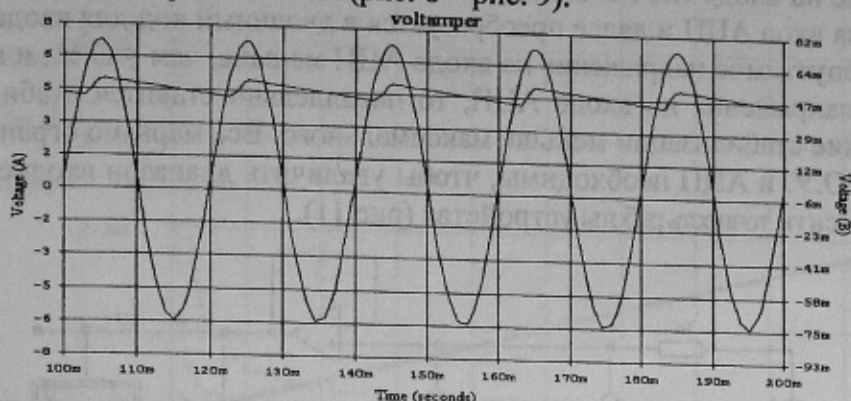


Рис. 8. Эпюры напряжений на входе и выходе выпрямителя при C равной 1 мкФ

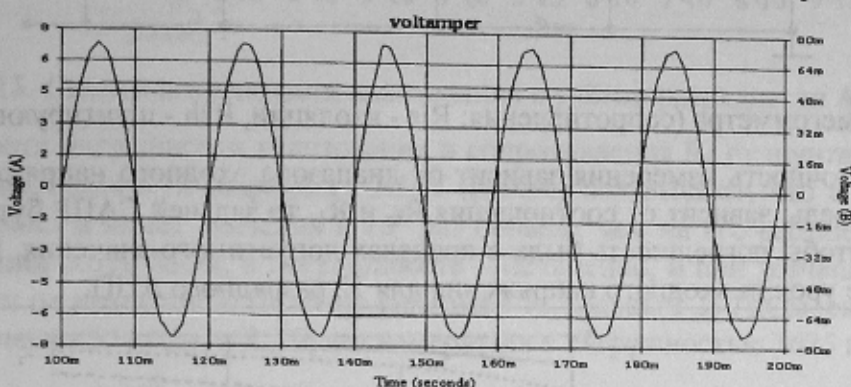


Рис. 9. Эпюры напряжений на входе и выходе выпрямителя при $C = 100 \text{ мкФ}$

Как видно из рисунков, при $C = 1 \text{ мкФ}$ очень заметны пульсации выпрямленного напряжения, при которых ΔU равно 0.7 В , что является большим источником погрешности. При $C = 47 \text{ мкФ}$ $\Delta U = 0.15 \text{ В}$. При $C = 100 \text{ мкФ}$ $\Delta U = 0.003 \text{ В}$. С точки зрения допустимого уровня пульсаций, наиболее приемлемым является вариант с ёмкостью 100 мкФ . Так как коэффициент усиления усилителя равен 100 , то при пусковых токах, превышающих номинальный в $7-10$ раз, выходное напряжение усилителя может превысить допустимое. Рассмотрим варианты проектных решений устраняющих эти недостатки. Для схемы проектируемого ИУ выберем коэффициент усиления 10 и предусмотрим нормирующий преобразователь на операционном усилителе (рис.10).

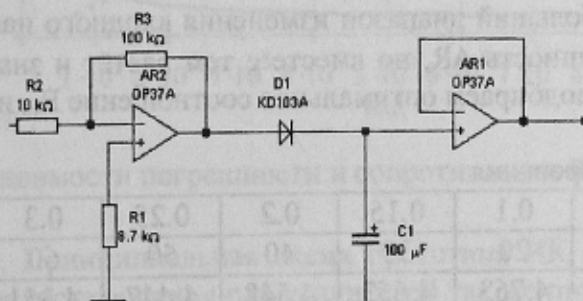


Рис. 10. Принципиальная схема нормирующего преобразователя

САПР ИК мегомметр. После того, как АД будет отключён и остановится, постоянное напряжение $U_{п}$, равное 1000 В через делитель R_1 и измеряемое $R_{из}$ подаётся на вход О.У., который работает в режиме эмиттерного повторителя. Чтобы при обрыве провода, ведущего к АД или при $R_{из}$ больше, чем заданное максимальное, напряжение на входе усилителя не пре-

высило максимально допустимого, то параллельно $R_{из}$ ставится $R_{ш}$, которое будет ограничивать напряжение на входе О.У. С выхода О.У. напряжение с параллельно включенных $R_{из}$ и $R_{ш}$ поступает на вход АЦП и далее преобразуется в двоичный код для ввода в МПС. Так как максимально допустимое напряжение на входе АЦП меньше, чем у О.У., и может превысить максимальное напряжение на входе АЦП, то параллельно ставится стабилитрон, который имеет напряжение стабилизации меньше максимального. Все меры по ограничению входных напряжений на О.У. и АЦП необходимы, чтобы увеличить диапазон входного напряжения и тем самым повысить точность работы устройства (рис.11).

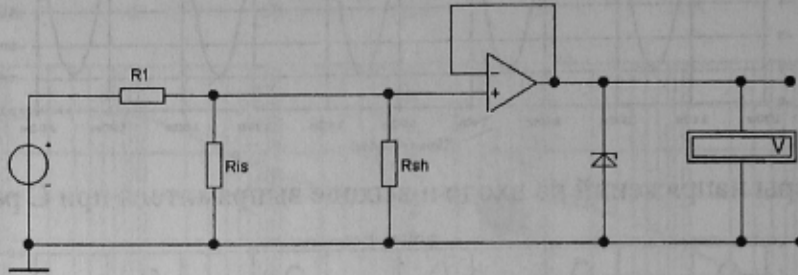


Рис. 11. Схема мегомметра (сопротивления: $R_{ис}$ - изоляции, $R_{ш}$ - шунтирующее)

Так как точность измерения зависит от диапазона входного напряжения АЦП, которое, в свою очередь, зависит от соотношения $R_{ш}$ и R_1 , то задачей САПР будет найти лучшее соотношение, чтобы погрешность была в пределах допустимого значения. На рис. 12. показаны различные уровни входного напряжения для 12 разрядного АЦП.

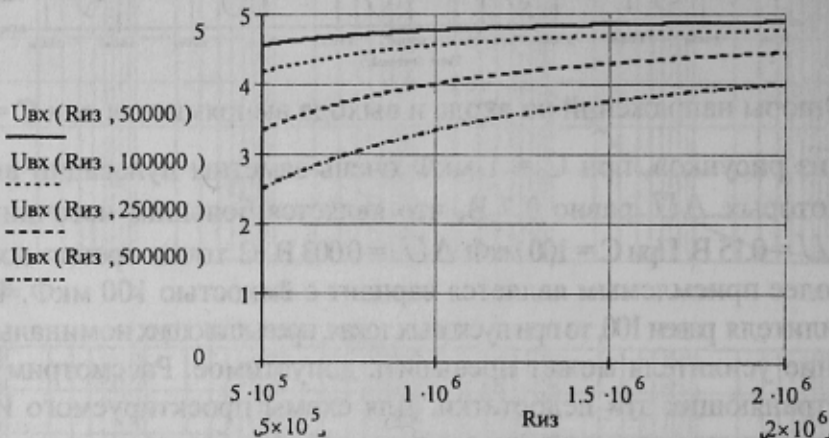


Рис. 12. Зависимость входного напряжения АЦП от $R_{ис}$ при различных $R_{ш}$.

Чем больше $R_{ш}$, тем больший диапазон изменения входного напряжения ΔU АЦП, следовательно, меньше погрешность ΔR , но вместе с тем растёт и значение R_1 , которое достигает сотен МОм. Поэтому подбираем оптимальное соотношение $R_{ш}$ и R_1 (табл. 1).

Таблица 1

Результаты моделирования

$R_{ш}$,МОм	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.5
R_1 ,МОм	10	20	30	40	50	60	70	80	100
$U_{вхmax}$, В	4.879	4.763	4.653	4.548	4.447	4.351	4.258	4.17	4.004
$U_{вхmin}$, В	4.548	4.17	3.851	3.577	3.339	3.131	2.947	2.784	2.506
ΔU , В	0.331	0.593	0.802	0.971	1.108	1.22	1.311	1.386	1.498
ΔR , кОм	5436	3035	2243	1854	1625	1476	1373	1300	1202

Для оценки погрешности квантования в зависимости от разрядности АЦП построим графики для 8, 10 и 12 разрядного АЦП (рис. 13).

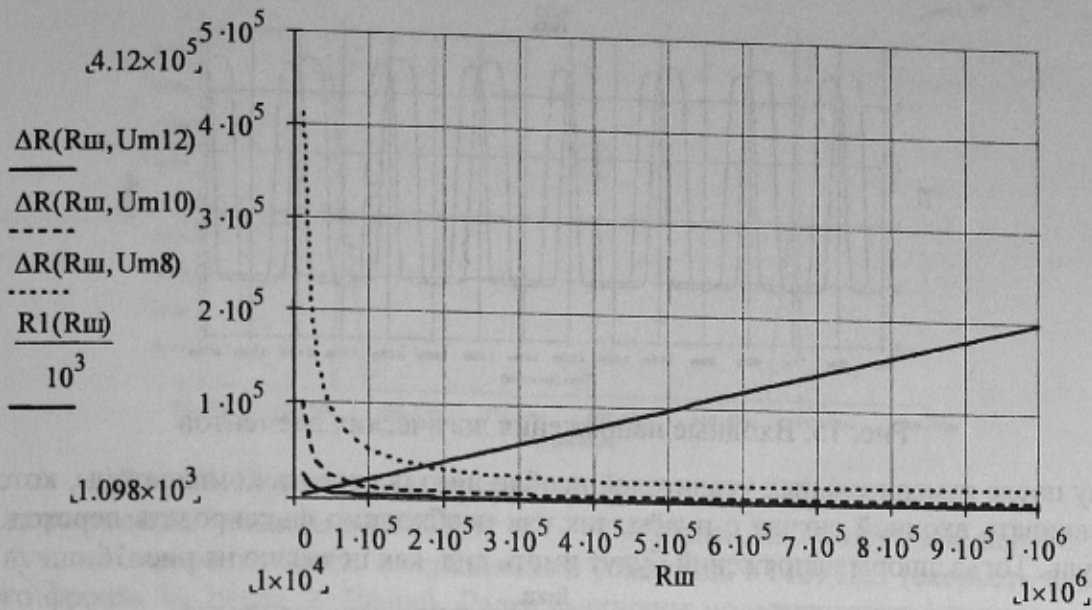


Рис. 13. Оценка погрешности квантования с учётом разрядности АЦП и $R_{ш}$

Зависимости погрешности квантования и сопротивления R_1 от шунтирующего сопротивления для выбранного 12-разрядного АЦП (рис.14) показывают, что сопротивление R_1 изменяется линейно и имеет значения в 10^4 раз больше, чем на его вертикальной шкале, и достигает значений сотен МОм, а погрешность – нелинейно, и при значении $R_{ш}$ около 300 кОм практически не изменяется. Поэтому выбираем $R_{ш}$, равным 250 кОм, соответственно R_1 будет иметь значение 50 МОм, а $R_{из}$ будет измеряться с погрешностью 1625 кОм.

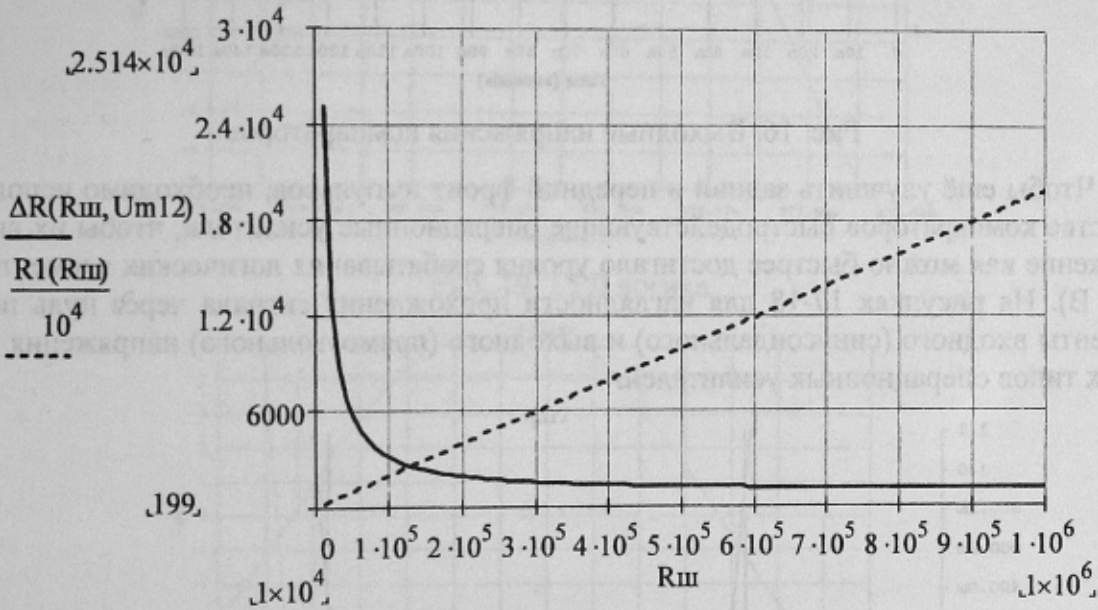


Рис. 14. Зависимости погрешности и сопротивления R_1 от $R_{ш}$

САПР ИК фазометр. Принципиальная схема прототипа ИК фазометра показана на рис. 1. Ранее оговоренные недостатки входных усилителей так же присутствуют и здесь, поэтому необходимо добавление измерительных усилителей. В этой схеме можно отказаться от двух параллельно включённых стабилитронов, а использовать один, так как диод обрезает нижний полупериод. Также существенным недостатком является наличие большого переднего и заднего фронта импульса, подаваемого на логический элемент, что увеличивает погрешность измерения, как показано на рис. 15.

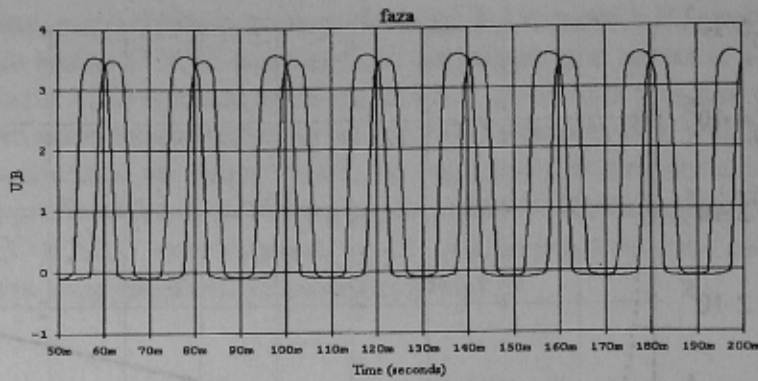


Рис. 15. Входные напряжения логических элементов

Поэтому после измерительных усилителей необходимо поставить компараторы, которые будут сравнивать входной сигнал с нулём, так как необходимо фиксировать переход сигнала через нуль. Тогда эпюры напряжений будут иметь вид, как показано на рис. 16.

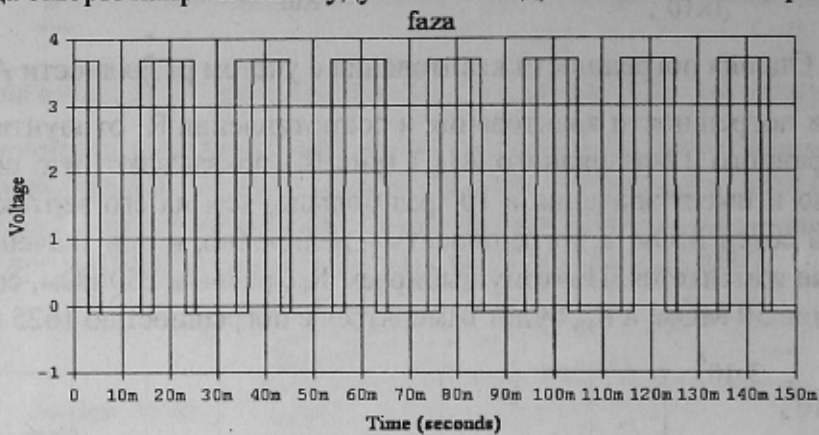


Рис. 16. Выходные напряжения компараторов

Чтобы ещё улучшить задний и передний фронт импульсов, необходимо использовать в качестве компараторов быстродействующие операционные усилители, чтобы их выходное напряжение как можно быстрее достигало уровня срабатывания логических элементов (около 1.5 В). На рисунках 17-18 для наглядности прохождения сигнала через нуль показаны фрагменты входного (синусоидального) и выходного (прямоугольного) напряжения для различных типов операционных усилителей.

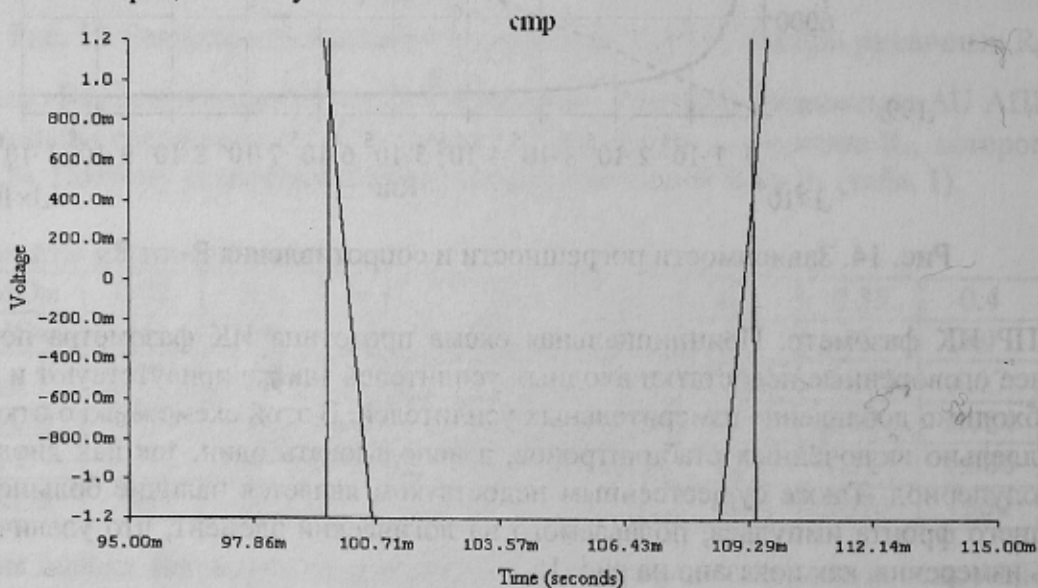


Рис. 17. Операционный усилитель К140УД6 с $V_U = 3\text{В/мкс}$

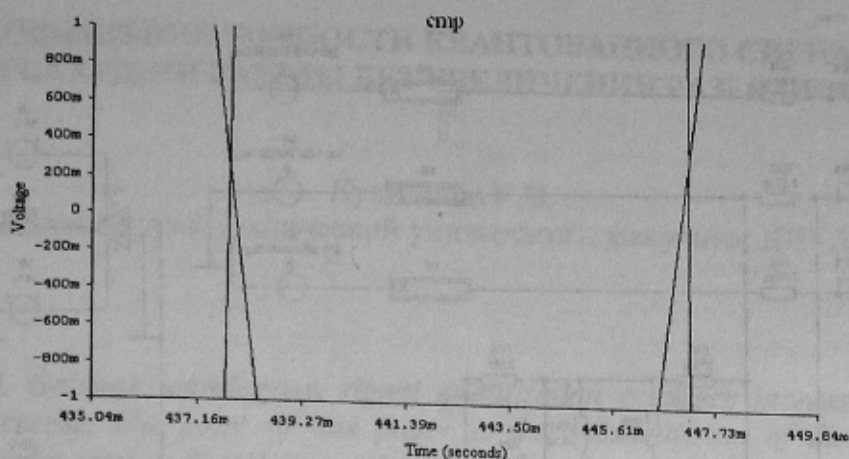


Рис. 18. Операційний усилитель K140UD23 с $V_U = 30$ В/мкс

Операційний усилитель K140UD7 с $V_U = 10$ В/мкс. Аналізуючи ці дані, очевидно, що найкращим варіантом буде операційний усилитель K140UD23 (швидкість наростання переднього фронту V_U рівна 30 В/мкс). Далі виконаємо моделювання логічних елементів і визначимо вплив різних типів на динаміку процесів. На рисунках 19-20 показані вихідні напруги для ТТЛ і КМОП логічних елементів.

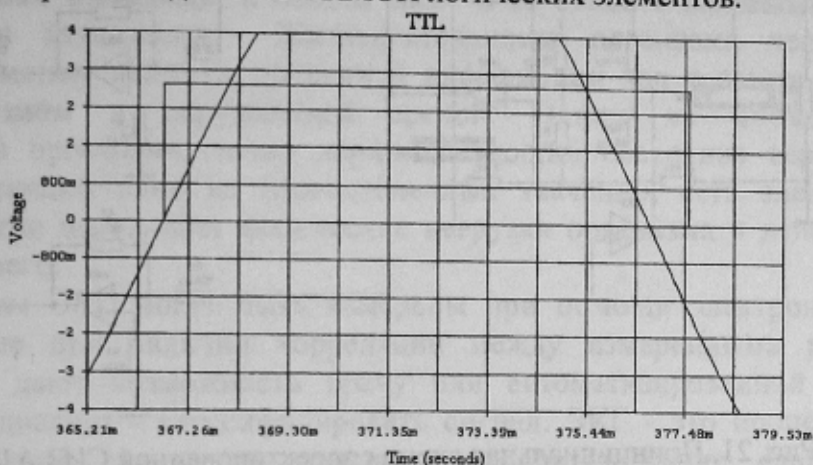


Рис. 19. ТТЛ логіка

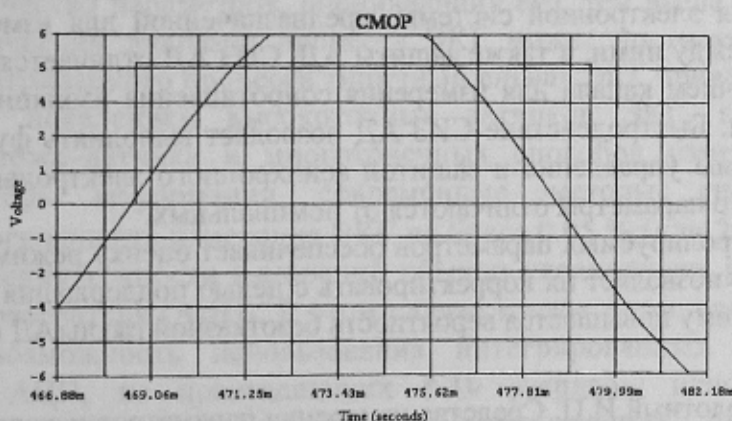


Рис. 20. КМОП логіка.

Из приведенного выше видно, что особых различий в динамике ТТЛ и КМОП нет, но КМОП логика лучше ТТЛ тем, что мало критична к колебаниям напряжения питания и потребляет очень малый ток.

Принципиальная схема разработанного в результате САПР модуля СИЗ АД приведена на рис. 21.

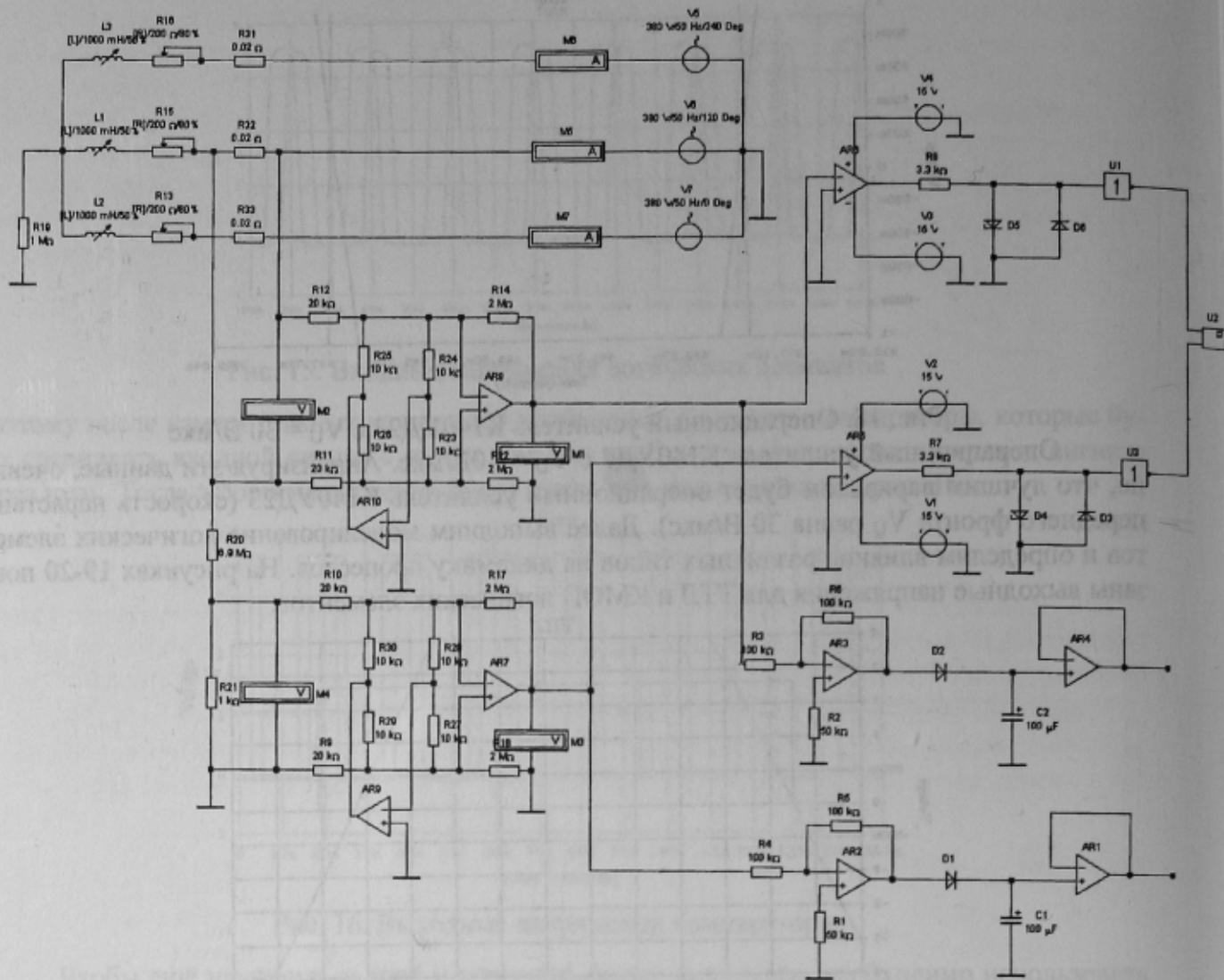


Рис. 21. Принципиальная схема спроектированной СИЗ АД

Выводы. 1. В результате выполнения проектных процедур САПР обоснованы принципиальные решения электронной системы, предназначенной для измерения напряжения, тока и сдвига фаз между ними, а также защиты АД. СИЗ АД отличается от известных быстродействием и наличием канала для измерения сопротивления изоляции обмоток в паузах между включениями. Быстродействие СИЗ АД позволяет выполнять функции, связанные с оптимизацией системы управления и защитой асинхронного электродвигателя от режимов работы, в которых его параметры отличаются от номинальных.

2. Набор контролируемых параметров обеспечивает оценку режимов работы АД в реальном времени, что позволяет их корректировать с целью поддержания номинальных параметров. Благодаря этому повышается вероятность безотказной работы АД в назначенный ресурс.

Литература

1. Ларина Е.Ю., Заболотный И.П. Средства измерения параметров и защиты электродвигателей многомашинного комплекса. / Наукові праці Донецького державного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація, випуск 58: - Донецьк, ДонНТУ, 2003.- С. 81-88.
2. Ларіна К.Ю. Оптимізація повторно - короткочасних режимів роботи асинхронних електродвигунів. / Збірник наукових праць ДонДТУ. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація, випуск 20: Донецьк: ДонДТУ, 2000. С. 303 – 310.
3. Система автоматизированного проектирования Electronics Workbench 5.12. Документация.