

Порядок выполнения работы

Соберите электрическую схему в соответствии с рис. 1.

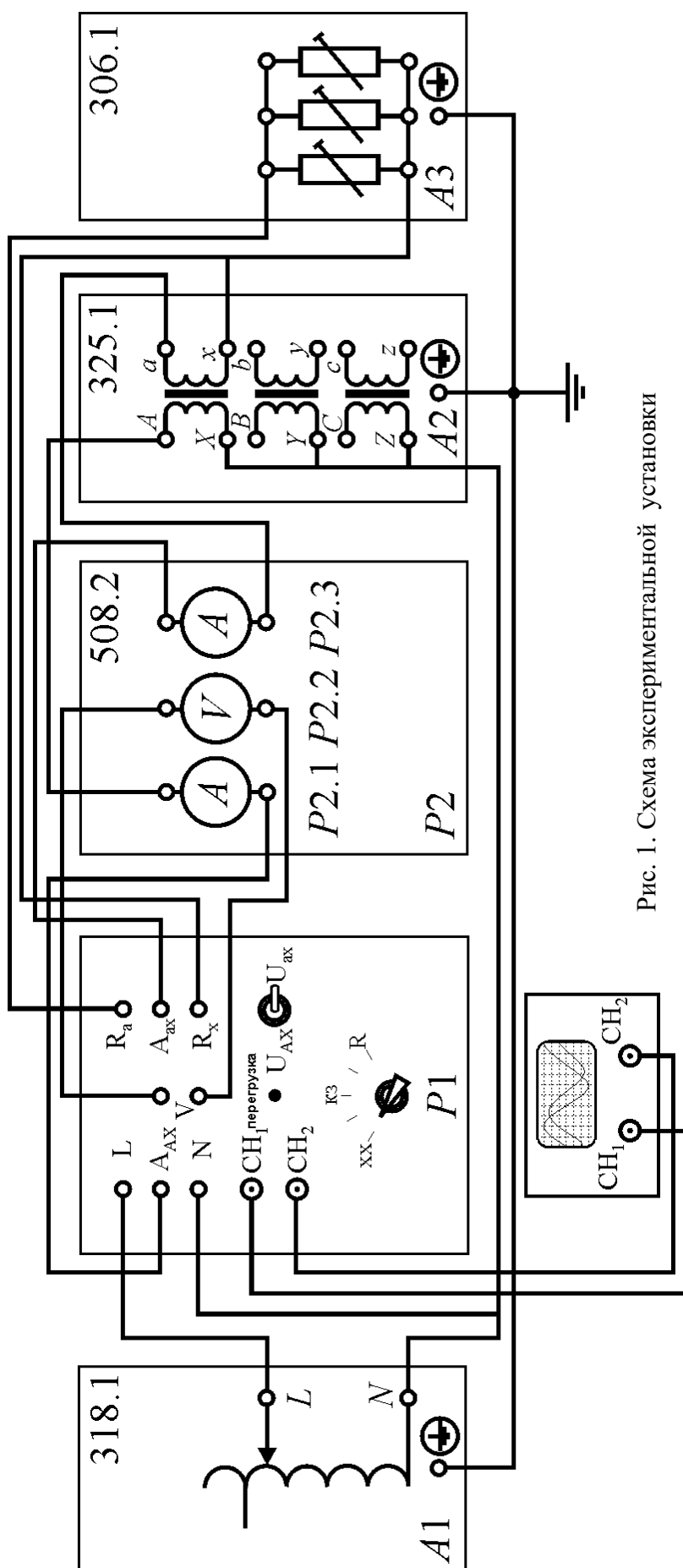


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Установите:

- регулировочную рукоятку автотрансформатора $A1$ в крайнее положение против часовой стрелки;
- переключатели активной нагрузки $A3$ в нулевые положения;
- переключатель номинального вторичного напряжения трансформатора в блоке $A2$ в положение, соответствующее заданию преподавателя (**127 В** или **133 В**);
- режимы работы мультиметров блока $P2$ в соответствии с обозначениями на рис. 1.

Предъявите схему для проверки преподавателю или лаборанту.

1. Характеристика холостого хода

1.1. Установите переключатель режимов работы блока $P1$ в положение «хх».

1.2. Включите питание автотрансформатора $A1$, блока мультиметров и осциллографа.

1.3. Сведите линии сигналов 1-го и 2-го канала на среднюю линию экрана.

1.4. Подключите вольтметр к первичной обмотке переводом тумблера « $U_{AX}-U_{ax}$ » в положение « U_{AX} ».

1.5. Плавно вращая регулировочную рукоятку автотрансформатора $A1$, установите напряжение питания первичной обмотки возможно более близким к 20% от номинального значения ($U_{1H}=230$ В) и занесите показания в таблицу 1 (U_{10}).

1.6. Настройте развёртку и усиление каналов « CH_1 » и « CH_2 » так, чтобы один период напряжения и тока занимал возможно большую часть экрана.

1.7. Определите длительность интервала между нулевыми значениями сигналов напряжения и тока и занесите полученное значение в таблицу 1 (t_{00}).^{*}

1.8. Занесите в таблицу 1 показания амперметра в первичной обмотке (I_{10}).

1.9. Подключите вольтметр ко вторичной обмотке переводом тумблера « $U_{AX}-U_{ax}$ » в положение « U_{ax} » и занесите его показания в таблицу 1 (U_{20}).

1.10. Переведите тумблер « $U_{AX}-U_{ax}$ » в положение « U_{AX} » и повторите п.п. 1.5...1.9 для напряжений питания 40%...≈120% U_{1H} с шагом 20%.

1.11. Установите регулировочную рукоятку автотрансформатора $A1$ в крайнее положение против часовой стрелки и отключите его питание.

Таблица 1.

Эксперимент	U_{10} [В]	(46,0)	(92,0)	(138,0)	(184,0)	(230,0)	(max ^{**})
	U_{20} [В]						
	I_{10} [А]						
	t_{00} [мс]						
Расчёт	$\cos\varphi_0$						
	k						
	I_{10}/I_{1H}						
	P_{10}/S_H						
	z_0 [Ом]						
	r_0 [Ом]						
	x_0 [Ом]						
	r_m [Ом]						
	x_m [Ом]						

^{*} Если сигналы в нулевых точках пересекают нулевую линию под малым углом, для повышения точности измерения увеличьте усиление так, чтобы угол был возможно большим (крутизна сигнала визуально увеличилась) несмотря на то, что часть изображения выйдет за пределы экрана.

^{**} Величина напряжения, соответствующая крайнему положению рукоятки автотрансформатора по часовой стрелке

2. Характеристика короткого замыкания

2.1. Убедитесь в том, что регулировочная рукоятка автотрансформатора А1 находится в крайнем положении против часовой стрелки.

2.2. Установите переключатель режимов работы блока Р1 в положение «кз» и тумблер « $U_{AX}-U_{ax}$ » в положение « U_{AX} ».

2.3. Включите питание автотрансформатора А1.

2.4. Осторожно, медленно и плавно вращая регулировочную рукоятку автотрансформатора А1, установите ток первичной обмотки возможно более близким к 20% от номинального значения ($I_{1H}=0,35$ А) и занесите полученное значение в таблицу 2 (I_{1K}).***

2.5. Настройте развёртку и усиление каналов «СН₁» и «СН₂» так, чтобы один период напряжения и тока занимал возможно большую часть экрана.

2.6. Определите длительность интервала между нулевыми значениями сигналов напряжения и тока и занесите полученное значение в таблицу 2 (t_{00}) (см. примечание к п. 1.7).

2.7. Занесите в таблицу 2 показания вольтметра (U_{1K}) и амперметра во вторичной обмотке Р2.3 (I_{10}).

2.8. Повторите п.п. 2.4...2.7 для токов 40%...120% I_{1H} с шагом 20%.

2.7. Установите регулировочную рукоятку автотрансформатора А1 в крайнее положение против часовой стрелки и отключите его питание.

Таблица 2.

Эксперимент	I_{1K} [А]	(0,07)	(0,14)	(0,21)	(0,28)	(0,35)	(0,42)
	U_{1K} [В]						
	I_{2K} [А]						
	t_{00} [мс]						
Расчёт	$\cos\varphi_K$						
	$u_K\%$						
	$u_{Ka}\%$						
	$u_{Kp}\%$						
	k						
	P_{1K}/S_H						
	z_K [Ом]						
	r_K [Ом]						
	x_K [Ом]						

3. Внешняя характеристика трансформатора

3.1. Убедитесь в том, что все переключатели активной нагрузки А3 находятся в нулевых положениях.

3.2. Установите переключатель режимов работы блока Р1 в положение «R» и тумблер « $U_{AX}-U_{ax}$ » в положение « U_{AX} ».

3.3. Включите питание автотрансформатора А1.

3.4. Плавно вращая регулировочную рукоятку автотрансформатора А1, установите величину напряжения питания первичной обмотки равной номинальному значению ($U_{1H}=230$ В).

3.5. Переключением ручек блока активной нагрузки А3 установите ток первичной обмотки возможно более близким к 0,1 А и занесите это значение в таблицу 3 (I_1).

3.6. Настройте развёртку и усиление каналов «СН₁» и «СН₂» так, чтобы один период напряжения и тока занимал возможно большую часть экрана.

*** Если в результате ошибки при регулировке ток первичной обмотки превысит максимально допустимое значение, питание трансформатора отключится и включится индикатор «перегрузка» в прерывистом или постоянном режиме в зависимости от степени перегрузки. В этом случае нужно быстро снизить напряжение питания.

3.7. Определите длительность интервала между нулевыми значениями сигналов напряжения и тока и занесите полученное значение в таблицу 3 (t_{00}) (см. примечание к п. 1.7).

3.8. Подключите вольтметр ко вторичной обмотке переводом тумблера « $U_{AX}-U_{ax}$ » в положение « U_{ax} » и занесите его показания в таблицу 3 (U_2).

3.9. Занесите в таблицу 3 показания амперметра во вторичной обмотке P2.3 (I_2).

3.10. Повторите п.п. 3.4...3.7 для токов 0,15...0,4 А с шагом 0,05 А. ****

3.11. Установите регулировочную рукоятку автотрансформатора А1 в крайнее положение против часовой стрелки и отключите его питание.

Таблица 3.

Эксперимент	I_1 [А]	I_{10}	(0,1)	(0,15)	(0,2)	(0,25)	(0,3)	(0,35)	(0,4)
	U_2 [В]	данные опыта xx							
	I_2 [А]								
	t_{00} [мс]								
Расчёт	$\cos\varphi_1$	$\cos\varphi_0$							
	β	0							
	U_{2p} [В]	U_{20}							
	γ_U [%]	0							
	η [%]	0							
	η_p [%]	0							
	γ_η [%]	0							

Содержание отчёта

1. Электрическая схема эксперимента.

2. Таблицы опытных данных.

3. Результаты расчёта:

- коэффициента трансформации по результатам опытов холостого хода и короткого замыкания – $k = U_{10}/U_{20}$; $k = I_{2k}/I_{1k}$;
- коэффициента мощности во всех режимах – $\cos\varphi = \cos(\pi \cdot t_{00}/10)$ *****;
- потребляемой активной мощности во всех режимах – $P_1 = U_1 I_1 \cos\varphi_1$
- параметров схемы замещения – $z_k = U_{1k}/I_{1k}$, $r_k = z_k \cos\varphi_k$, $x_k = \sqrt{z_k^2 - r_k^2}$,
 $r_1 = r'_2 = r_k/2$, $x_1 = x'_2 = x_k/2$,
 $z_0 = U_{10}/I_{10}$, $r_0 = z_0 \cos\varphi_0$, $x_0 = \sqrt{z_0^2 - r_0^2}$,
 $r_m = r_0 - r_1$, $x_m = x_0 - x_1$;
- процентных напряжений короткого замыкания (полного, активного и реактивного) –
 $u_k \% = 100 \cdot U_{1k}/U_{1n}$, $u_{ka} \% = u_k \% \cdot \cos\varphi_k$ и $u_{kr} \% = u_k \% \cdot \sin\varphi_k$
- внешней расчётной характеристики по упрощённой схеме замещения –
 $U_{2p}(\beta) = U_{20} - \Delta U_2$; $\Delta U_2 = \beta U_{1k}(\cos\varphi_k \cos\varphi_2 - \sin\varphi_k \sin\varphi_2)/k$, и приведённой погрешности её расчёта – $\gamma_U = [U_{2p}(\beta) - U_2(\beta)]/U_2(0)$, где
 $\beta = I_2/I_{2n} \approx I_2/(k \cdot I_{1n})$;

**** На некоторых установках при максимальной мощности нагрузки невозможно получение токов, соответствующих последним столбцам таблицы 3. В этом случае следует ограничиться током, соответствующим предельной нагрузке.

***** В этом выражении угол φ фазового сдвига тока относительно напряжения вычисляется по соотношению длительности смещения нулевой точки тока относительно нулевой точки напряжения t_{00} к длительности полупериода частоты питания – 10 мс.

- экспериментального и расчётного КПД – $\eta = f(\beta) = P_2 / P_1 = U_2 I_{2н} \beta / P_1$,
 $\eta_p = f(\beta) = \frac{\beta U_{2н} I_{2н} \cos \varphi_2}{\beta U_{2н} I_{2н} \cos \varphi_2 + P_{10} + \beta^2 P_{1к}}$, а также приведённой погрешности его расчёта
 $\gamma_\eta = [\eta_p(\beta) - \eta(\beta)] / 100$
- коэффициента мощности – $\cos \varphi = f(\beta)$

4. Графики:

- характеристик холостого хода $I_{10} / I_{1н} = f(U_{10} / U_{1н})$, $P_{10} / S_{н} = f(U_{10} / U_{1н})$,
 $r_m = f(U_{10} / U_{1н})$, $x_m = f(U_{10} / U_{1н})$ и $\cos \varphi_{10} = f(U_{10} / U_{1н})$;
- характеристик короткого замыкания $U_{2к} / U_{2н} = f(I_{2к} / I_{2н})$, $P_{1к} / S_{н} = f(I_{2к} / I_{2н})$,
 $r_1 = f(I_{2к} / I_{2н})$, $x_1 = f(I_{2к} / I_{2н})$ и $\cos \varphi_{1к} = f(I_{2к} / I_{2н})$;
- опытной и расчётной внешней характеристики $U_2 = f(\beta)$, $U_{2р} = f(\beta)$;
- опытных и расчётных энергетических характеристик $\eta = f(\beta)$, $\eta_p = f(\beta)$;
 $\cos \varphi = f(\beta)$.

Опытные и расчётные характеристики строятся на одной плоскости.

5. Анализ полученных результатов и выводы о соответствии их теории.

Измерение углов фазового сдвига

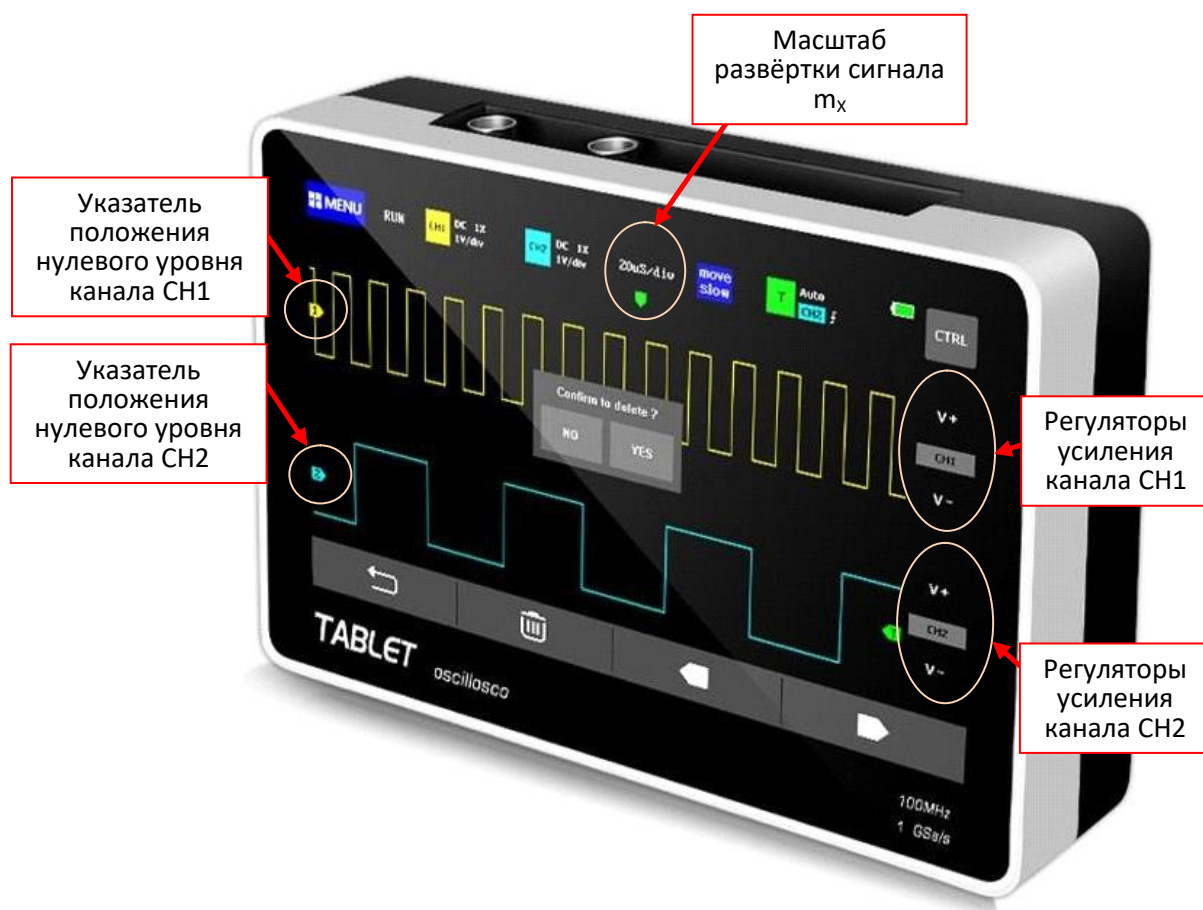


Рис. П.1

Измерение углов фазового сдвига между током и напряжением производится для вычисления активной и реактивной составляющей токов, напряжений, мощностей и параметров



Рис. П.2

схемы замещения трансформатора.

Измерение углов производится с помощью планшетного осциллографа с сенсорным дисплеем типа FNIRSI 1030D, внешний вид которого показан на рис. П.1

Подключение осциллографа к внешним цепям производится с помощью разъёмов, расположенных на верхней панели (см. рис. П.2). Адаптер источника питания подключается к осциллографу USB-кабелем, а входные сигналы напряжения и тока, формируемые блоком коммутации – коаксиальными кабелями.

Включение питания производится нажатием кнопки.

После включения питания на дисплее появляется изображение сигналов напряжения (CH1) и тока (CH2). Если усиление каналов недостаточно, то эти изображения будут иметь вид неровных линий. В этом случае усиление следует увеличить последовательным нажатием кнопок, помеченных на дисплее как «V+» (см. рис. П.1). В результате изображение сигналов примет вид, например, показанный на рис. П.3, а.

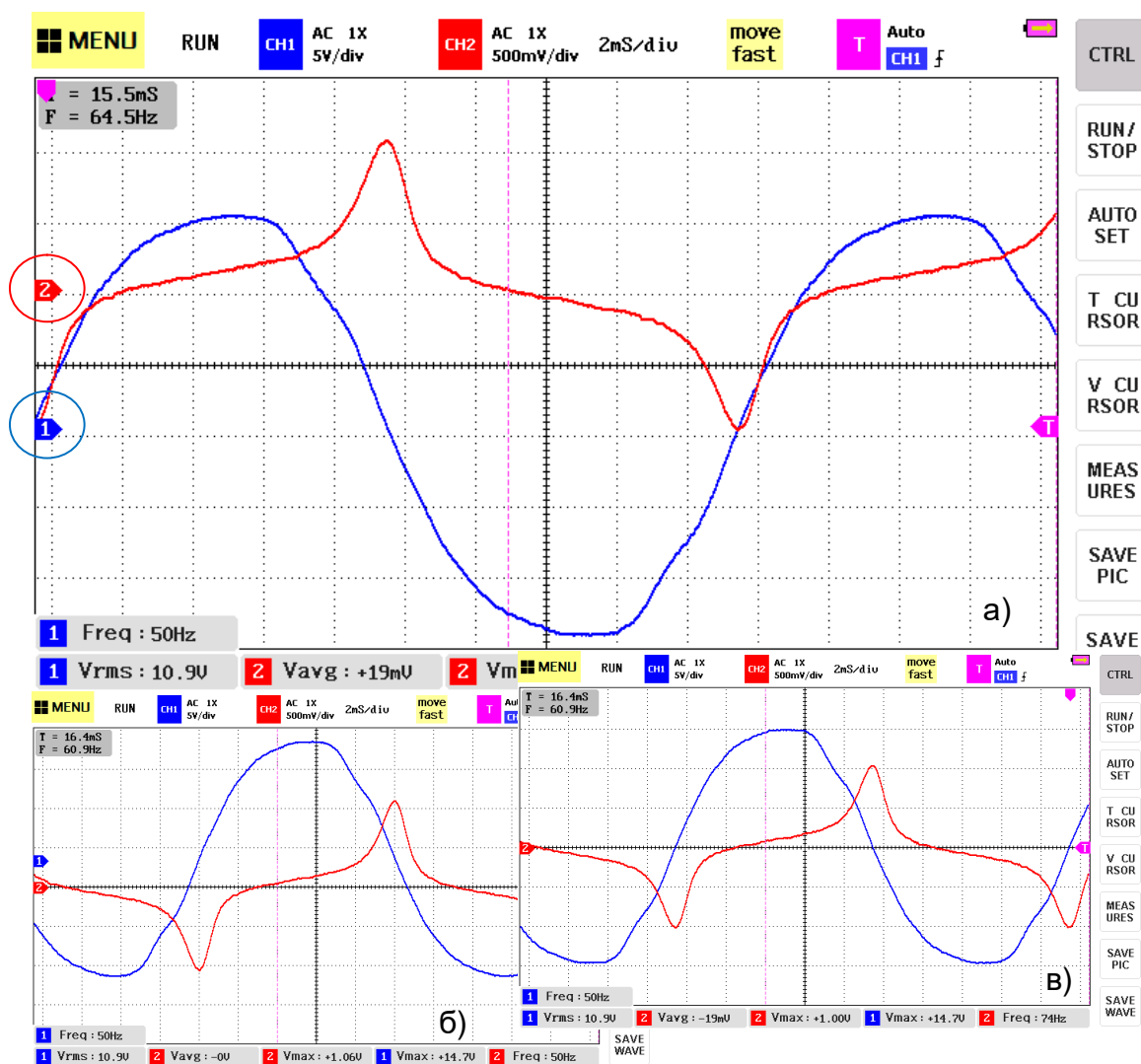


Рис. П.3

Здесь нулевые уровни сигналов оказались смещёнными относительно средней линии дисплея и их нужно свести на эту линию, перетаскивая изображения сигналов касанием (рис. П.3 б и в). В результате указатели нулевого уровня каналов окажутся совмещёнными со средней линией (рис. П.3 в).

Угол фазового сдвига соответствует отрезку АВ на рис. П.4, а). Для измерения длины этого отрезка с минимальной погрешностью нужно настроить развёртку изображения и усиление каналов так, чтобы точки А и В находились на возможно большем расстоянии друг от друга и линии сигналов пересекали нулевую линию дисплея под возможно большим углом.

Для этого вначале нужно увеличить усиление обоих каналов до предельных значений короткими нажатиями кнопок, помеченных на дисплее как «V+» (см. рис. П.1). В результате амплитудные области сигналов окажутся за пределами дисплея (рис. П.4, б).

Теперь нужно увеличить размер изображения отрезка АВ. Это делается уменьшением

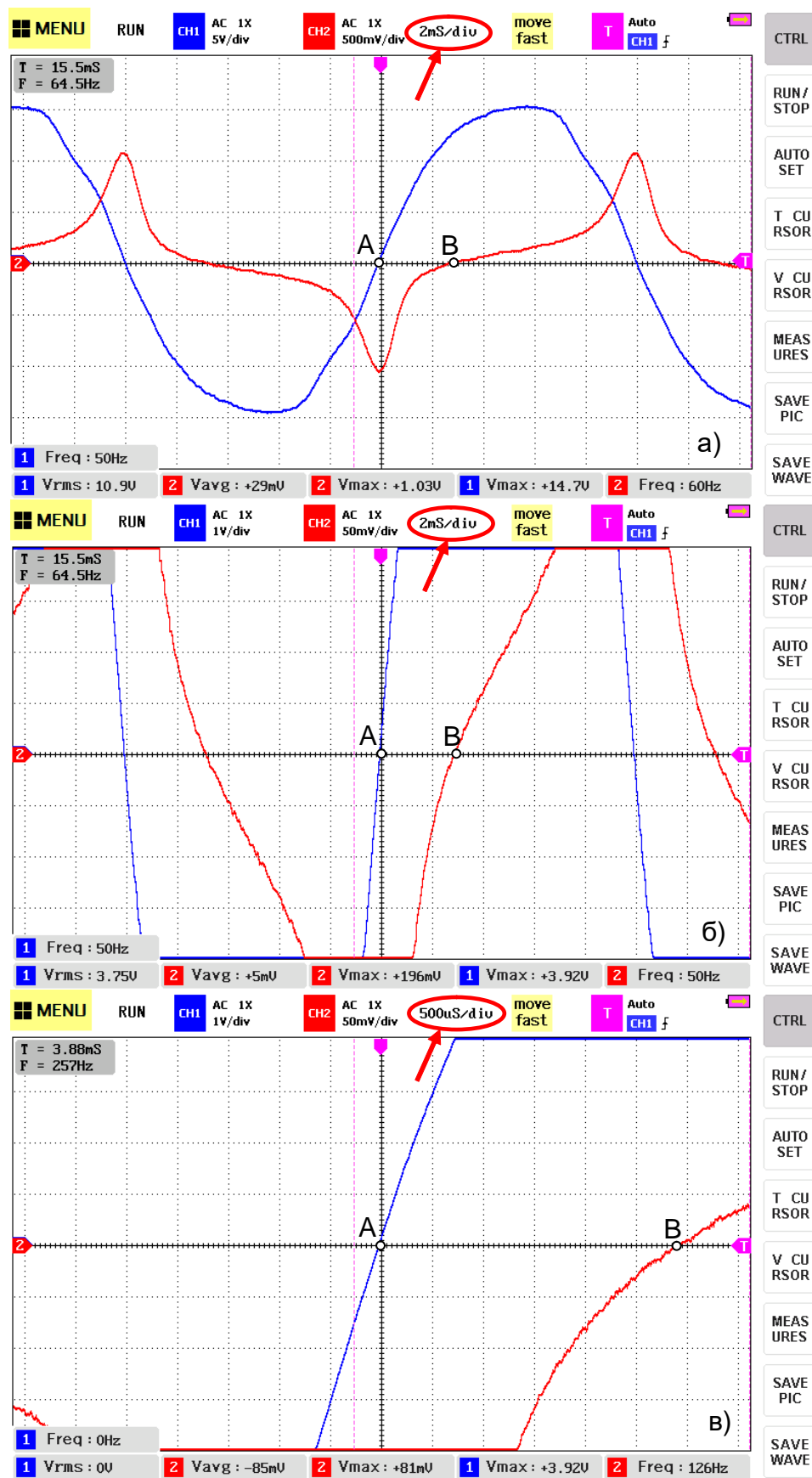


Рис. П.4

длительности развёртки щелчками по правой половине экрана *. Текущая цена деления экрана отображается на верхней панели. На рис. П.4 в начале настройки она была 2 мс/дел, а после её завершения составляет 500 мкс/дел (рис. П. 4, в).

Таким образом, размер отрезка АВ на рис. П. 4, в) составляет 5,8 деления, что соответствует длительности

$$t_{AB} = 5,8 \cdot 500 \text{ мкс} = 5,8 \cdot 0,5 \text{ мс} = 2,9 \text{ мс}.$$

Частота питающей сети равна 50 Гц, а её полупериод – 10 мс. Следовательно, угол фазового сдвига тока относительно напряжения равен:

$$\varphi = t_{AB} \pi / 10 = 0,91 \text{ рад} = 0,91 \cdot 180 / \pi = 52,2^\circ.$$

* Если при настройке развёртки одна из точек отрезка АВ выйдет за пределы экрана, щёлкните по левой половине для увеличения длительности развёртки или щёлкните по области сигнала, а затем сдвиньте изображение в сторону, убедившись, что указатели нулевых уровней каналов остались на средней линии.