

МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ПО КУРСУ
«Схемотехника аналоговых электронных устройств»

«СХЕМЫ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ»

Утверждено
на заседании кафедры

Москва, 2005 г.

Цель работы – знакомство с различными схемами выпрямителей снятия их характеристик

1. Краткие сведения из теории.

Для работы радиоэлектронных устройств требуется постоянный ток с различными напряжениями. Для преобразования переменного тока в постоянный применяют выпрямители.

Блок – схема выпрямителя простейшего типа показана на рис. 1.

Силовой трансформатор повышает или понижает напряжение сети переменного тока до величины, необходимой для получения заданного постоянного напряжения на выходе выпрямителя.

Электрический вентиль, пропуская ток только в одном направлении, обеспечивает выпрямление.

Сглаживающий фильтр уменьшает переменные составляющие (пульсацию) выпрямленного тока.

Нагрузка – потребитель энергии постоянного тока, представляющий собой, например, электронные лампы или полупроводниковые приборы.

В общем случае действие любого выпрямительного устройства, имеющего вентиль и сглаживающий фильтр, сводится к следующему. Ток в ветви, содержащий вентиль, протекает только при одной полярности переменного напряжения и имеет форму однополярных импульсов.

Частота повторения импульсов определяется частотой выпрямляемого напряжения, форма импульсов – реактивностью, стоящей на выходе выпрямителя, а их длительность – режимом работы выпрямителя. Постоянный ток на выходе выпрямителя определяется составляющей импульсов тока всех фаз. Задачей сглаживающего фильтра является фильтрация переменных составляющих импульсного тока с тем, чтобы в предельном случае через сопротивление нагрузки протекала только одна постоянная составляющая выпрямленного тока.

Выпрямленные устройства можно классифицировать по ряду признаков.

Они делятся:

а) по типу вентиля – на электронные (кенотропные), ионные (газотропные, тиратропные и др.) и полупроводниковые (селеновые, кремневые, германиевые и др.);

б) по характеру нагрузки для переменных составляющих выпрямленного тока: чисто активная нагрузка; нагрузка, начинающаяся с емкости; нагрузка, начинающаяся с индуктивности (выпрямитель с омической, емкостной и индуктивной нагрузкой);

в) по числу выпрямляемых фаз – на однофазные, двух – фазные, трехфазные и т.д.;

г) по схеме – мостовые, с умножением напряжения, с проме –

жуточным преобразованием по частоте и т. д. ;

д) по мощности выпрямленного тока – на маломощные (до 100 Вт), средней мощности (до 5000 Вт) и большой мощности (свыше 5000 Вт) ;

е) по частоте выпрямляемого тока – на низкочастотные (50 Гц), с повышенной частотой (до 1000 Гц) и высокочастотные (свыше 1000 Гц) ;

ж) по напряжению выпрямляемого тока – на низковольтные (до 250 В), среднего напряжения (до 1000 В) и высоковольтные (свыше 1000 В) ;

з) по режиму работы – на устройства, предназначенные для длительно и кратковременно включаемой нагрузки, для импульсной нагрузки и т. д.

При определении числа фаз выпрямления следует исходить из соотношения $m = p \cdot q$, где p – число фазных обмоток вторичной цепи трансформатора, а q равно или единице или двум, а зависи – мости от того, один или два раза за период работает эта фазная обмотка. Например, при трехфазном трансформаторе в схеме Ларионова, имеющей шесть ветвей, импульсы тока в каждой фазной обмотке протекают два раза за период. Поэтому для нее $m = 6$, так как $p = 3$, $q = 2$

В схемах выпрямителей с умножением напряжения происходит одновременно как выпрямление напряжения, так и его умножение в K раз.

Выбор той или иной схемы выпрямления зависит от особенностей того радиоустройства, которое питается от выпрямителя, а также от сложности применяемого блока питания.

Во многих случаях выбор схемы выпрямления определяется необходимостью получить наименьшие размеры выпрямителя, его наибольший КПД, допустимую пульсацию выпрямленного тока в сочетании с наиболее простым фильтром и рядом других соображений.

Например, следует учитывать возможность и целесообразность выполнения дополнительных намоток и дополнительных отводов от намоток в трансформаторе.

Большинство маломощных выпрямителей для питания анодных цепей ламп и коллекторных цепей полупроводниковых триодов в усилителях, приемниках и т. д. работает на нагрузку с емкостной реакцией (т.е. фильтр начинается с емкости). Такая схема выпрямителя при сравнительно малых размерах фильтра дает малый коэффициент пульсации выпрямленного напряжения, что весьма важно для работы усилителей.

Различные схемы выпрямителей.

а) Однофазная схема выпрямителя.

Принципиальная схема однофазного выпрямителя показана на рис.

2

При включении выпрямителя в сеть (начальное напряжение на зажимах конденсатора C равно нулю) через вентиль потечет ток лишь тогда, когда напряжение на аноде будет положительным (момент t_1 на рис. 3). По мере протекания тока через вентиль конденсатор C будет заряжаться, напряжение на нем будет возрастать. Когда напряжение на конденсаторе станет равным напряжению на вторичной обмотке трансформатора, ток через вентиль прекратится. Заряженный конденсатор будет разряжаться через сопротивление нагрузки.

Если ток вентиля превышает ток нагрузки, то конденсатор заряжается.

Если же ток вентиля меньше тока нагрузки или равен нулю, то конденсатор разряжается.

При нулевом токе вентиля скорость спада напряжения на нагрузке определяется постоянной времени $\tau_{\text{разр}} = CR$.

Поскольку эта постоянная времени велика, то за время разряда, которое несколько меньше периода переменного напряжения, напряжение на конденсаторе уменьшится незначительно. Следующая положительная полуволна также откроет вентиль. Но так как на конденсаторе сохранилось значительное положительное напряжение, то откроется вентиль не в момент t_2 , а несколько позже, в момент t_3 , когда напряжение на вторичной обмотке трансформатора превысит напряжение на емкости C .

По мере накопления заряда конденсатором угол отсечки будет уменьшаться и в установившемся режиме через вентиль будет протекать достаточно узкие импульсы тока, по форме близкие к косинусоидальным. Около основания эти импульсы достаточно круты и поэтому разница между длительностью импульса тока и временем заряда невелика и часто различия между ними не делают.

В установившемся режиме напряжение на конденсаторе C и ток в нагрузочном сопротивлении R изменяются согласно кривой $ABDF$ (см. рис. 3). Ток через вентиль протекает только в тот промежуток времени, когда мгновенное напряжение на зажимах трансформатора больше напряжения на зажимах конденсатора. Как видно из кривых, этот промежуток времени значительно меньше полу периода, т.е. выпрямитель работает в режиме отсечки тока.

Выходное напряжение пульсирует около среднего значения U_0 . Отсечка тока определяется величиной постоянной составляющей напряжения на конденсаторе U_0 .

На рис. 4 показан режим работы с отсечкой анодного тока.

В однофазной схеме выпрямителя трансформатор имеет одну вторичную и одну первичную обмотку. Формы тока и напряжения вторичной обмотки показаны на рис. 5.

Ток i_{11} несинусоидален и состоит из постоянной составляющей I_0 , переменной составляющей основной частоты и ряда гармоник. Ток вторичной обмотки совпадает с током вентиля.

В цепи первичной обмотки нет источника постоянной ЭДС и нет вентиля. Поэтому ток первичной обмотки не может содержать постоянной составляющей. Переменная же составляющая тока вторичной обмотки трансформируется и переходит в первичную обмотку, увеличенной в n раз, где n – коэффициент трансформации.

Ток в первичной обмотке имеет ту же форму, что и ток во вторичной с той разницей, что в первичной обмотке отсутствует постоянная составляющая.

Однофазная схема весьма проста, она содержит лишь один вентиль, один конденсатор и простейший трансформатор.

К ее недостаткам относятся: низкое использование трансформатора, относительно высокое обратное напряжение на вентиль, очень большие пульсации выпрямленного напряжения и низкая их частота. Эту схему применяют, как правило, в маломощных простейших выпрямителях.

б) Двухфазная схема выпрямителя.

Принципиальная схема двухфазного выпрямителя показана на рис. 6.

В этой схеме используются обе полуволны переменного напряжения. В результате напряжения на каждой половине вторичной обмотки трансформатора, представляющей отдельную фазу, будут сдвинуты друг к другу на 180° .

Так как ток через вентиль может протекать только в том случае, когда его анод положителен по отношению к катоду, то с изменением полярности напряжения на вторичных обмотках трансформатора первый и второй вентили будут работать поочередно.

Напряжение на конденсаторе C и ток в нагрузочном сопротивлении R изменяются согласно кривой $ABDFMN$ (рис. 7).

Конденсатор C заряжается импульсами тока два раза за период переменного напряжения и поэтому выходное напряжение пульсирует в два раза чаще, чем в однофазной схеме, т.е. с частотой в два раза большей частоты переменного напряжения.

Ток каждой фазовой обмотки совпадает с током соответствующего вентиля.

Каждый из токов вторичной обмотки трансформируется в первичную.

Если бы работала только одна из вторичных обмоток, например, 1 то в первичной обмотке трансформатора получился бы ток i_{11} , по форме соответствующий току i_{11} , а по величине равный $I_{01} * n$ (nI_{01} - постоянная составляющая тока, даваемая одной фазой).

Если бы работала только одна вторая половина вторичной обмотки, то ток первичной обмотки i_{12} имел бы ту же форму, что и I_{11} , но был бы сдвинут по времени на 180 и направлен в противоположную сторону, так как обмотка 2 дает по отношению к обмотке 1 противоположно направленные ампер – витки.

Токи $I_{01} * n$ и $I_{02} * n$ равны между собой и при вычитании дают нуль. В первичной обмотке поэтому протекает ток, в точности воспроизводящий форму тока вторичной обмотки (рис. 8), но повторяющийся два раза за период – один раз в одну сторону, другой раз в противоположную.

Двухфазная схема несмотря на свои недостатки (относительно низкое использование обмоток трансформатора, необходимость в двух вторичных обмотках трансформатора или в одной обмотке на удвоенное напряжение с выводом от средней точки) являлась до последнего времени самой распространенной. Она применяется в выпрямителях малой мощности для питания приемо-передающей, измерительной и другой радиоэлектронной аппаратуры при средних выпрямительных напряжениях.

в) Мостовая схема выпрямителя.

В мостовой схеме выпрямителя (рис. 9) применены 4 вентиля, а трансформатор не имеет средней точки.

Вентили соединены в виде моста таким образом, что при положительной пике переменного напряжения, снимаемого с трансформатора, ток протекает через вентили 1 и 3, а при пике другой полярности ток будет протекать через вентили 2 и 4.

На выходе моста импульсы тока имеют одну и ту же полярность, во вторичной обмотке импульсы тока имеют разную полярность.

Конденсатор С подзаряжается импульсами тока два раза за период переменного напряжения и поэтому так же, как и в предыдущей схеме, выходное напряжение пульсирует в два раза чаще, чем в однофазной схеме, т.е. с частотой, в два раза большей частоты переменного напряжения.

Токи в мостовой схеме показаны на рис. 10

Достоинства мостовой схемы:

- 1) возможность применения обычного однофазного трансформатора без вывода средней точки;
- 2) напряжение вторичной обмотки трансформатора в два раза меньше напряжения между концами обмотки двухфазного выпрямителя для заданного выпрямленного напряжения;
- 3) обратное напряжение на вентиль в два раза меньше, чем в обычной двухфазной схеме;
- 4) хорошее использование обмоток трансформатора;
- 5) отсутствие вынужденного намагничивания.

Недостатки схемы:

- 1) необходимость в трех изолированных трансформаторах накала;
- 2) необходимость применять вентили с малым R_i , так как ток проходит через два вентиля последовательно;
- 3) значительные пульсации выпрямленного напряжения.

Схема может применяться для выпрямления сравнительно небольших напряжений. Эта схема с полупроводниковыми вентилями применяется сейчас очень широко в выпрямителях средней и малой мощности.

г) Схема выпрямителя с удвоением напряжения.

Схема выпрямителя с удвоением напряжения (рис. 11) состоит из двух соединенных последовательно однофазных выпрямителей, работающих на емкость, причем для обоих выпрямителей используется одна вторичная обмотка.

Один из фазных выпрямителей образован вентилем V_1 и конденсатором C_1 .

Другой выпрямитель использует ту же вторичную обмотку и образован вентилем V_2 и конденсатором C_2 .

Вентиль V_2 противоположно вентилю V_1 , поэтому полярность напряжения на конденсаторе C_2 иная.

С выхода выпрямителя (точки a и d) снимается сумма напряжений обоих выпрямителей, т.е. двойное напряжение.

Когда напряжение на вторичной обмотке имеет такую полярность, что полюс получается в точке e , а минус соответственно в точке n , и близко к максимуму, через вентиль V_1 идет ток, подзаряжающий конденсатор C_1 (рис. 12)

При обратной полярности переменного напряжения подзаряжается конденсатор C_2 через вентиль V_2 .

На рис. 12 изображено напряжение на конденсаторе C_2 ; U_2 отложено в обратную сторону, т.е. построен график - U_2 .

Для определения полного выпрямленного напряжения U_0 нужно сложить мгновенные значения напряжений на конденсаторах C_1 и C_2 .

Пульсация напряжения на нагрузке происходит с частотой $f_n = 2f_c$, как это имеет место при двухфазном выпрямлении тока.

По вторичной обмотке трансформатора протекают как импульсы тока вентиля B_1 , так и вентиля B_2 , поэтому ток i_2 не имеет постоянной составляющей.

Схемы выпрямления с удвоением напряжения применяются либо для получения высоких напряжений (1-5 кв), либо для получения средних напряжений при сравнительно низковольтном трансформаторе.

Приведенные сведения о достоинствах и недостатках схем, а также о примерных областях их применения не являются исчерпывающими. Выбирая схему выпрямителя, надо в каждом конкретном случае учитывать условия эксплуатации и наличие вентилях того или иного вида в промышленном изготовлении. Окончательный выбор схемы может быть сделан после подсчета веса и габаритов вариантов всего выпрямительного устройства.

Параметры выпрямителя.

а) Основной параметр выпрямителя – это его К.П.Д.

$$\eta = \frac{P_0}{P_1} = \frac{I_0 U_0}{I_0 U_0 + P_{II} I_{II}^2 R_i + I_1^2 r_1 P_1 + I_{II}^2 r_{II} P_{II} + P_C} \quad (1)$$

где:

$P_0 = I_0 U_0$	- выпрямленная мощность его	напряжения;
$P_1 = P_0 + P_a + P_{TP}$	- потребляемая мощность	
$P_a = I_{II}^2 R_i$	- мощность, рассеиваемая на анодах вентилях;	
P_{II}	- число вторичных обмоток трансформатора;	
$P_{TP} = I_1^2 r_1 P_1 + I_{II}^2 r_{II} P_{II} + P_C$	- мощность, теряемая в трансформаторе;	
P_1	- число первичных обмоток трансформатора;	
I_1, I_{II}	- эффективные значения токов в первичной и во вторичной обмотках трансформатора	
r_1, r_{II}	- активные сопротивления фаз первичной и вторичной обмоток;	
P_C	- потери в сердечнике трансформатора.	

б) Важным параметром является коэффициент пульсации.

$$K_{II} = \frac{U_{\infty}}{U_0} = \frac{H(\theta, m)}{rcf} \quad (2)$$

[r]- мах

[с]- микрофарады

[f]- герц

где

U_{∞} - амплитуда переменной составляющей напряжения на нагрузке;

U_0 - постоянная составляющая напряжения на нагрузке.

в) Большой практический интерес представляет реакция выпрямительного устройства на изменение нагрузки, характеризуемая обычно кривой, показывающей зависимость постоянного напряжения U_0 на нагрузке от величины постоянного тока I_0 в нагрузке.

Эта зависимость важна для оценки качества работы выпрямителя, так как эта нагрузка выпрямителя редко остается постоянной и называется нагрузочной или внешней характеристикой выпрямителя (рис. 13)

Здесь U_0 - изменение выпрямленного напряжения, соответствующее приросту тока нагрузки от $I_{0\min}$ до $I_{0\max}$;

U_{oh} - номинальное напряжение выпрямителя при токе нагрузки.

Выходное сопротивление, характеризующее наклон нагрузочной характеристики

$$R_{iB} = \frac{\Delta U}{I_{0\max} - I_{0\min}} \quad (3)$$

является также важной характеристикой выпрямителя.

г) Когда вентиль выпрямительного устройства проводит ток, на нем создается небольшое падение напряжения. Когда же вентиль ток не проводит, его электроды могут находиться под напряжением, равным сумме пикового значения приложенного напряжения переменного тока и напряжения на нагрузке.

Следовательно, вентиль должен выдерживать большое обратное напряжение. Поэтому надо выбирать вентили, исходя из максимального обратного напряжения.

Графоаналитический метод расчета выпрямителей

Этот метод расчета основан на соотношениях, характерных для режима работы выпрямителя с нижней отсечкой тока вентиля.

Угол отсечки является величиной для характеристики режима работы выпрямителя, так как все интересующие расчетчика величины связаны с углом отсечки достаточно простыми соотношениями.

Заданные для расчета величины связаны с углом отсечки уравнением

$$A = \operatorname{tg} \theta - \theta = \frac{\pi r}{m R_H} = \frac{\pi r I_0}{m U_0} \quad (4)$$

где:

$$R_H = \frac{U_0}{I_0} \quad \text{- сопротивление нагрузки выпрямителя;}$$

m - число фаз выпрямителя;

r - полное сопротивление фазы;

θ - угол отсечки;

где:

R_i - внутреннее сопротивление вентиля;

r_{TP} - сопротивление обмоток трансформатора, причем

$$r_{TP} = r_{II} + r_I'$$

где r_{II} - активное сопротивление вторичной обмотки трансформатора;

r_I' - активное сопротивление первичной обмотки, пересчитанное во вторичную;

r_{TP} - обычно точно не известно и берут ориентировочно;

$r_{TP} = (0.1 \div 0.07) R_{нагр}$ - для выпрямителей с мощностью от 1 до 10 Вт;

$r_{TP} = (0.08 \div 0.05) R_{нагр}$ - для выпрямителей с мощностью от 10 до 100 Вт;

$r_{TP} = (0.06 \div 0.04) R_{нагр}$ - для выпрямителей с мощностью от 100 до 1000 Вт;

После конструктивного расчета трансформатора нужно уточнить значение и всех остальных параметров выпрямителя.

Каждому значению параметра A будет соответствовать тот или иной угол отсечки.

Обычно это уравнение решают графически. Однако при расчете не определяют сам угол отсечки, а предпочитают находить расчетные

величины, являющиеся функциями угла отсечки, непосредственно по параметру $A = \text{tg}$

1. Действующее значение напряжения на зажимах вторичной обмотки трансформатора определяется из соотношения

$$U_{II} = \frac{U_{mII}}{\sqrt{2}} = \frac{U_c}{\sqrt{2} \cos \theta} = B(\theta)U_0 = B(A)U_0 \quad (5)$$

Зависимость B от A приведена на рис. 14.

2. Коэффициент трансформации

$$n = \frac{U_{II}}{U_I} = \frac{\omega_{II}}{\omega_I} \quad (6)$$

где w_1 и w_2 – число витков первичной и вторичной обмоток трансформатора.

3. Для выбора типа вентиля необходимо знать максимальный импульс тока вентиля

$$I_{\max} = \frac{I_0}{m} F(A) \quad (7)$$

Зависимость F от A приведена на рис. 14.

При малых значениях A найти по этому графику точное значение величины $F(A)$ трудно, так как кривая зависимости стремится в этих условиях к бесконечности.

Удобнее пользоваться графиком

$$\alpha(A) = \frac{1}{F(A)}$$

тогда

$$I_{\max} = \frac{I_0}{m\alpha(A)} \quad (8)$$

Если окажется, что для выбранного вентиля $I_{\max} > I_s$, то нужно применить другой тип вентиля или поставить параллельно.

4. Расчет трансформатора требует знания действующего значения тока вторичной обмотки трансформатора I_2 , протекающего через вентиль:

$$I_{II} = \frac{I_0}{m} D(A) \quad (9)$$

Зависимость D от A также приведена на рис. 14.

5. Мощность, рассеиваемая на аноде вентиля в рассчитываемом режиме, определяется соотношением

$$P_a = I_{II}^2 R_i \quad (10)$$

где R_i – внутреннее сопротивление вентиля, определяемое на основании его вольт – амперной характеристики. Очевидна обязательность условия:

$$P_a \leq P_{\text{аодн}}$$

6. Токи вторичной и первичной обмотки трансформатора отличаются по форме от токов вентиля, так как к одной обмотке может быть присоединено несколько вентиляей.

Ток первичной обмотки однополупериодного выпрямителя определяется соотношением

$$I_I = n \sqrt{I_{II}^2 - I_0^2} \quad (11)$$

где I_2 – ток вентиля или вторичной обмотки, определяемой соотношением (9).

Для двухфазного выпрямителя

$$I_I = n \sqrt{2} I_{II} \quad (12)$$

7. Потери в трансформаторе складываются из потерь в меди обмоток P_m и потерь в стали магнитопровода $P_{ст}$, причем

$$P_m = I_I^2 r_I P_I + I_{II}^2 r_{II} P_{II}$$

Расчет потерь в стали магнитопровода ведут по формуле

$$P_{ст} = P_{стII} G_{ст}$$

где $P_{стII}$ – удельные потери в стали, Вт/кг

$G_{ст}$ - вес стали магнитопровода, кг

Для определения величины $P_{ст}$ должна быть известна величина индукции в магнитопроводе.

8. Размеры трансформатора определяются расчетной мощностью трансформатора

$$VA_{TP} = \frac{VA_I + VA_{II}}{2}$$

где $P_{ст}$ - вольт-амперы первичных обмоток, Вт/кг;

$G_{ст}$ - вольт-амперы вторичных обмоток, кг;

Для определения величины $P_{ст}$ должна быть известна величина индукции в магнитопроводе.

8. Размеры трансформатора определяются расчетной мощностью трансформатора

$$VA_{TP} = \frac{VA_I + VA_{II}}{2}$$

где:

$VA_I = P_I I_I U_I$ - вольт-амперы первичных обмоток;

$VA_{II} = P_{II} I_{II} U_{II}$ - вольт-амперы вторичных обмоток;

II. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Установка включает :

- 1) макет, на котором смонтированы выпрямители и стабилизатор напряжения;
- 2) реостат, который используется в качестве нагрузки;
- 3) миллиамперметр для измерения тока нагрузки;
- 4) вольтметр для измерения напряжения на нагрузке;
- 5) осциллограф для снятия осциллограм и определения пульсаций.

Блок – схема установки и принципиальная схема представлены на рис. 15 и рис. 16.

Выпрямители собраны на полупроводниковых диодах.

III. ЗАДАНИЕ

1. Снять нагрузочные характеристики для трех схем выпрямителей (двухфазной схемы с нулевой точкой, мостовой и выпрямителя с удвоением напряжения) $U_n = f(I_n)$
2. Снять осциллограммы токов в первичной обмотке трансформатора, во вторичной обмотке и в плечах диодов для всех схем выпрямителей.
3. Определить величину пульсации выпрямленного напряжения при токах нагрузки для всех схем выпрямителей ($I_{01} = 25$ ма; $I_{02} = 50$ ма; $I_{03} = 75$ ма) :

$$K_{II} = \frac{U_{\max}}{U_0} 100\%$$

где U_{\max} - амплитуда переменной составляющей напряжения с основной частотой пульсаций;

U_0 – постоянная составляющая выпрямленного напряжения на нагрузке.

Рассчитать выпрямитель для заданной нагрузки, указанной на макете.

Методические указания.

1. В процессе снятия нагрузочных характеристик выпрямителей ток нагрузки I_n изменять от $I_n = 100$ ма до I_{\min} через 10 ма. Переключение схем выпрямителей осуществляется переключателем п1.

Для записей экспериментальных данных :

Таблица 2

Двухфазная схема с нулевой точкой	$\frac{I_n, \text{мА}}{U_n, \text{В}}$
Двухфазная мостовая схема	$\frac{I_n, \text{мА}}{U_n, \text{В}}$
Схема с удвоением напряжения	$\frac{I_n, \text{мА}}{U_n, \text{В}}$

По результатам эксперимента построить нагрузочные характеристики на одном графике для всех схем выпрямителя.

2. Для снятия осциллограмм токов в первичной и во вторичной обмотках трансформатора и в плечах диодов надо подключить осциллограф к гнездам (1,2); (3,4); (5,6); (7,8); (9,10) (см. рис. 16).
 3. Для определения величины пульсации осциллограф подключается к нагрузке. Переменная составляющая выпрямленного напряжения измеряется осциллографом, а постоянная – вольтметром.
 4. При расчете выпрямителя определить $U_{II}, U_{обр}, I_{max}, I_{II}, I_I, C_{\phi}$
Для снятия характеристик выпрямителя используется индикаторная панель, установленная на лабораторном столе.
В данной работе используются 2 прибора.
1. Прибор, служащий для измерения напряжения на нагрузке.
 2. Прибор, служащий для измерения тока нагрузки.
- Пределы измерений выбираются исходя из удобства измерений.