

СХЕМА И РАСЧЕТ ПЛАВНОГО РАЗОГРЕВА МОЩНОГО ЛАМПОВОГО ГЕНЕРАТОРНОГО ПЕНТОДА ГУ-81М

Молочная А.А.

г. Королев, МБОУ «Гимназия № 5», 8 класс

Руководитель: Лебедев В.В., НИУ МГСУ, д-р техн. наук,
руководитель школьного кружка «Юный физик – умелые руки»

Цель работы заключается в создании установки с индукционным нагревом для получения сверхчистых сплавов левитационным способом. Для достижения цели работы надо решить несколько технических задач. Прежде всего, надо изготовить мощный высокочастотный генератор с рабочей частотой приблизительно 1 кГц. Сначала был проведен анализ ламповой и транзисторной техники. Была выбрана ламповая схема. Основными преимуществами такого выбора стали высокое рабочее напряжение до 5 кВ и даже более, практическое отсутствие шума даже при нагревании, а также устойчивость электровакуумной лампы к кратковременным перегрузкам. Транзисторные схемы, напротив, сильно шумят при нагревании в смысле появления помех, не работают при высоких напряжениях и практически сразу выходят из строя при перегрузках особенно по напряжению.

Перед началом работы с мощной ламповой схемой на генераторном пентоде ГУ-81М надо было решить задачу правильного накала катода [1]. Если катод будет перегрет, то он перегорит. Если катод будет недогрет, то при высоком анодном напряжении лампа может взорваться из-за явления вырывания отрицательно заряженных горячих металлических частиц катода сильным анодным электрическим полем. Случаи взрывов мощных радиоламп уже были, поэтому в радиотехнике действует правило: лучше слегка перегреть катод радиолампы, чем недогреть его.

В процессе работы была решена техническая задача оценки качества напряжения бытовой электросети для нагрева через трансформатор [2,3,4] нити накала катода радиолампы при строго заданном напряжении 11,8-13,5 В и большой силе тока 10,5 А.

Для долгого сохранения работоспособности катода, для исключения больших пусковых токов через холодный катод, для плавного разогрева катода в первичной цепи трансформатора был применен диммер. Была разработана схема лабораторной установки. Лабораторная установка позволила не только отработать систему плавного разогрева катода, но и снять вольтамперные

характеристики в первичной и вторичной цепях силового трансформатора, работающего под нагрузкой нити накала катода.

Новизной предлагаемой диммерной схемы плавного разогрева катода является шунтирование диммера после выхода схемы на максимальное рабочее напряжение. Диммер приводит к дополнительному падению напряжения в первичной цепи до 15 В. В работе показано, что качество напряжения бытовой электросети не удовлетворяет техническим характеристикам для нормальной работы радиолампы, как правило, оно меньше [4]. После плавного разогрева катода необходимость в диммере отпадает, он шунтируется замыканием ключа.

Результаты работы доложены, одобрены и награждены на VII Международной школе-семинаре «Современные проблемы физики и технологий» 16-21 апреля 2018 г. в Национальном исследовательском ядерном университете (Москва, НИЯУ МИФИ) [5].

1. Формулировка задачи

Мощный генераторный пентод ГУ-81М применяется в электронных схемах для генерации и усиления высокочастотных сигналов частотой до 50 МГц. Такая частота соответствует длине электромагнитной волны

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{50 \cdot 10^6 \text{ Гц}} = 6 \text{ м}$$

Следовательно, генераторный пентод ГУ-81М позволяет работать с электромагнитными волнами в диапазоне ультракоротких волн (УКВ) при мощности в анодной цепи до 600 Вт и даже более.

Направлением моей работы является ламповая мощная высокочастотная техника. Выбор электронной лампы для генератора связан с ее преимуществами над полупроводниковым транзистором.

Преимущества электровакуумной лампы:

- почти нет «шума» даже при сильном нагреве, а у транзистора появляются искажения и шумы особенно при нагреве, требующие дополнять электронные схемы сложными системами стабилизации;

- высокое рабочее напряжение лампы, достигающее десятков киловольт, тогда как у транзистора рабочее напряжение редко превышает 100 В;

- устойчивость лампы к перегрузкам и сохранении работоспособности устройства после возвращения к нормальной мощности, тогда как транзистор при перегрузке, особенно по напряжению, практически мгновенно выходит из строя;

- простота ламповой схемы, содержащей намного меньше деталей по сравнению с транзисторными устройствами.

В звуковой усилительной технике лампы не так удобны, как транзисторы, но зато более точно и красиво передают звучание музыкальных инструментов.

Недостатками ламп являются:

- неудобство работы со стеклянным баллоном;

- возможность разбить стеклянный баллон лампы, особенно дорогой;

- большое анодное рабочее напряжение, требующее специальных анодных трансформаторов типа ТА (трансформатор анодный) или ТАН (трансформатор анодно-накальный);

- необходимость согласующих трансформаторов при снятии мощности с анода на конечное устройство потребителя;

- необходимость нагрева катода специальной схемой, требующей трансформаторов типа ТН (трансформатор накальный) или ТАН (трансформатор анодно-накальный);

- большая масса трансформаторов, обеспечивающих работу электронной лампы,

На первый взгляд может показаться, что недостатков у электронной лампы больше, чем преимуществ. Однако до сих пор электровакуумные лампы выпускаются в промышленном масштабе, например Калашниковским заводом электровакуумных ламп, расположенном в Тверской области, и Саранским заводом в Республике Мордовия.

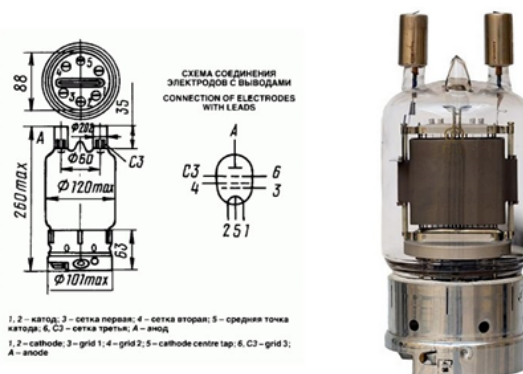
Для работы лампового устройства любого назначения сначала надо обеспечить надежный и правильный разогрев катода. В связи с этим была поставлена первая техническая задача – включить мощный генераторный пентод ГУ-81М в цепь накала и проверить правильный разогрев при различных допустимых характеристиках бытовой электросети.

Задачей более высокого уровня является создание мощного высокочастотного лампового генератора. Конечная цель работы предполагает создание индукционного нагревателя для получения левитационной сверхчистой технологии плавки металлов. Мощный высокочастотный ламповый генератор может применяться не

только по прямому назначению для достижения сформулированной цели работы, но и в других устройствах: трансформаторе Тесла, Е-Н-антенне, генераторе высокочастотной плазмы и др. При начальном этапе работы конечные цели и задачи пока не обсуждаются, потому что будут постоянно уточняться. Даже первая, казалось бы, простая задача разогрева катода известным напряжением и током оказалась далеко не такой простой.

2. Характеристики объекта исследования (радиолампы ГУ-81М)

На рис. 1 показан общий вид и обозначение на схемах мощного генераторного пентода ГУ-81М [1].



1, 2 – катод; 3 – сетка первая; 4 – сетка вторая; 5 – средняя точка катода; 6, С3 – сетка третья; А – анод.
1, 2 – cathode; 3 – grid 1; 4 – grid 2; 5 – cathode centre tap; 6, C3 – grid 3; А – anode

Рис. 1. Общий вид и схема пентода ГУ-81М [1]

Первая (начальная) техническая задача – разогреть катод.

Для решения этой задачи надо изучить характеристики мощного лампового генераторного пентода ГУ-81М, а также знать, что может произойти при нарушении этих характеристик. Основные характеристики лампы ГУ-81М содержатся в ее паспорте, который вкладывается в каждую коробку с упакованной лампой. Обычно радиолюбители смотрят на три характеристики: напряжение накала $U_{Н}$, анодное напряжение $U_{А}$, анодный ток $I_{А}$, а потом изучают другие, например, сеточные напряжения.

Для генераторного пентода ГУ-81М были выписаны следующие характеристики нормального режима работы лампы.

Основные параметры: $U_{Н}=12,6$ В, $U_{А}=2$ кВ, $U_{С2}=0,6$ кВ, $I_{А}=200$ мА.

Из этих характеристик, например, можно определить анодную мощность лампы $P_{А} = I_{А} U_{А} = 0,2 А \cdot 2000 В = 400 Вт$. Это очень большая мощность! При пиковых нагрузках анодная мощность лампы ГУ-81М может достигать до 1,5 кВт, превышая все паспортные данные, но не нарушая работоспособность лампы. В этом заключается преимущество ламповой техники. При че-

тырехкратной перегрузке по мощности, не говоря о трехкратном превышении рабочего напряжения, транзистор давно бы уже вышел из строя.

Для обеспечения правильного разогрева катода потребовалось более детально изучить характеристики лампы ГУ-81М, в том числе предельные.

Напряжение накала катода должно находиться в пределах 11,8-13,5 В.

Ток накала катода имеет значение 10,5 А.

3. Выбор трансформатора для накала катода

Первая техническая задача от словесной формулировки постепенно перешла к формальной – обеспечить указанные характеристики разогретого катода лампы ГУ-81М а заданных пределах.

Сначала была определена максимальная мощность электрического тока, которая нужна только для нагрева катода. По закону Джоуля-Ленца

$$P_H = I_H \cdot U_H = 10,5 \text{ А} \cdot 13,5 \text{ В} = 141,75 \text{ Вт} .$$

Только для разогрева катода нужен силовой трансформатор мощностью не менее 150 Вт с выходным напряжением 13 В, способный выдавать силу тока до 11 А. Трансформаторы – это стандартные устройства, выпускаемые промышленностью [2,3].

Сначала был исследован силовой трансформатор ТС-310-2, который применялся на первых ламповых телевизорах типа «Радуга» (рис. 2).

Этот трансформатор имеет выходную мощность 310 Вт, то есть обеспечит работу разогретого катода надежно, имея более чем двукратный запас по мощности. Но сразу возникло первое неудобство – очень большая масса трансформатора, приблизительно 5 кг. Но если тяжесть трансформатора вызывает только неудобство работы с устройством, то точные данные полностью исключили этот трансформатор из рассмотрения и дальнейшего применения для накала лампового пентода ГУ-81М. Действительно, по паспорту трансформатор ТС-310-2 имеет две обмотки с выходным напряжением 6,75 В и допустимым током 2,6 А. Есть еще одна сильноточная вторичная обмотка с напряжением 6,75 В и меньшим допустимым током 2,3 А.

Таблица 1. Моточные данные и электрические параметры трансформаторов ТСА-310-1, ТСА-310-2, СТ-310.

Тип транс-ра	Обмотка	№ выводов трансформатора	Количество витков	Марка и диаметр провода, мм	Напряжение ХХ, В	Напряжение, ном. В	Ток, ном. А
ТСА-310-1	I	1-2-3	274+42	ПЭВА 1,16	110+17	110+17	1,5
	Г	1'-2'-3'	274+42	ПЭВА 1,16	110+17	110+17	1,5
	II-II'	4-12+12'-4'	191+191	ПЭВА 0,8	153*	148*	0,55
ТСА-310-2	III-III'	5-8-13+13'-8'-5'	6-185+185-6	ПЭВА 1,16	2,4+148+2,4*	2,3+143+2,3*	0,55
	IV-IV'	7-15+15'-7'	42+42	ПЭВА 1,16	33,6*	32,5*	1,2
	V-V'	6-14+14'-6'	219,5+219,5	ПЭВ-1 0,25	176*	172*	0,07
	VI-VI'	9-16+16'-9'	8,5+8,5	ПЭВА 1,16	6,8*	6,6*	0,9
	VII-VII'	10-17+17'-10'	9+9	ПЭВА 1,16	7,2*	6,75*	2,3
	VIII	11-18	18	ПЭВА 1,16	7,2	6,75	2,6
VIII*	11'-18'	18	ПЭВА 1,16	7,2	6,75	2,6	
				ПЭВА 1,45			
				ПЭВА 1,45			

* - Напряжения приведены для крайних выводов обмоток.

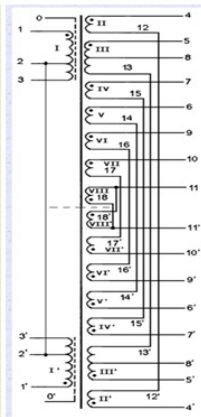


Рис. 2. Моточные данные и вид трансформатора ТСА-310-2 [3]

Методом исключения этот трансформатор сразу можно не рассматривать. Потому что даже при сложении трех самых больших токов, то есть при параллельном попутном соединении трех выходных обмоток получится максимальный допустимый ток 2,3+2,6+2,6=7,5 А в полтора раза меньше требуемого тока накала катода 10,5 А. И это не говоря о рабочем напряжении вторичной обмотки трансформатора 6,75 В. Если же сделать выходное напряжение трансформатора 6,75+6,75=13,5 В, то есть соединить обмотки последовательно попутно, то допустимая сила тока будет всего 2,6 А. Никакими комбинациями нельзя получить нужную силу тока 10,5 А при на-

пряжении 13 В. Вывод – трансформатор ТС-310-2 не может быть использован для накала лампового пентода ГУ-81М, хотя по мощности удовлетворяет паспортным требованиям для лампы. Надо искать другой силовой трансформатор.

В школьном кружке есть старый диапроектор «Витязь». В этом диапроекторе применяется низковольтная лампа с целью обеспечения безопасности работы с устройством. Значит, там должен быть понижающий трансформатор, потому что диапроектор включается в бытовую электросеть с переменным напряжением 220 В. Мне разрешили разобрать прибор и вынуть из него понижающий трансформатор для изучения.

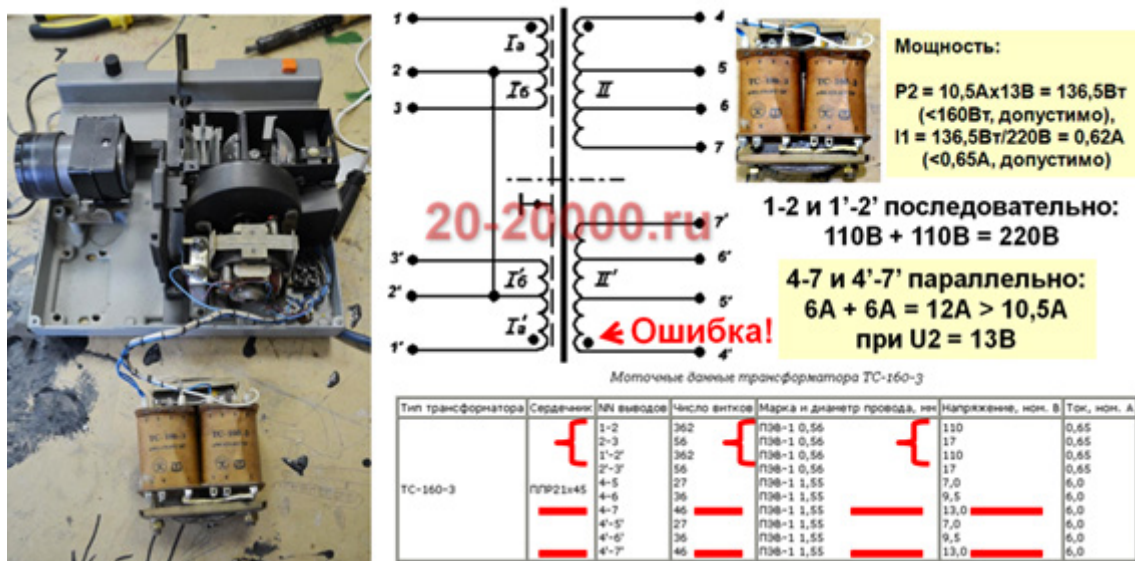


Рис. 3. Характеристики трансформатора ТС-160-3 [3]

Для извлечения трансформатора из диaproектора «Витязь» пришлось отпаять соединительные провода и отвинтить гайки крепления. В справочной литературе содержатся характеристики трансформатора ТС-160-3, которые также можно найти в Интернете.

4. Электротехнические расчеты цепи накала катода

Моточные данные показали, что теоретически трансформатор ТС-160-3 может быть применен для накала катода лампы ГУ-81М. Для этого были проведены пять расчетов.

1-й расчет по мощности потребления электроэнергии

При среднем рабочем напряжении питания катода от вторичной обмотки трансформатора $U_2=13$ В и рабочем токе вторичной обмотки $I_2=10,5$ А потребляемая мощность равна $P_2=I_2U_2=10,5\text{A}\cdot 13\text{В}=136,5\text{Вт}$. Расчетная мощность трансформатора ТС-160-3 содержится в его обозначении и равна 160 Вт. Это означает, что трансформатор будет работать на $136,5:160\cdot 100\%=85,4\%$ нагрузки. Это вполне допустимо, если учитывать, что включения прибора будут кратковременными, не дольше пяти минут, в основном в учебных и демонстрационных целях. «Запас прочности» по мощности составляет $160/136,5=1,18$.

2-й расчет по напряжению питания в первичной обмотке

В трансформаторе первичные обмотки 1-2 и 1'-2' рассчитаны на рабочее напряжение по ~ 110 В каждая. Эти обмотки можно

соединить последовательно попутно, тогда получится первичное рабочее напряжение ~ 220 В. Это напряжение бытовой электросети, поэтому требование по напряжению питания устройства выполнено.

3-й расчет по силе тока питания в первичной обмотке

Потребляемая трансформатором мощность выдается во вторичную обмотку, а потом на катод лампы ГУ-81М для его разогрева. При теоретических расчетах сначала можно предположить, что в трансформаторе потерь энергии нет, то есть вся электрическая энергия из первичной обмотки передается во вторичную обмотку. Это означает, что мощность P_1 , забираемая трансформатором в первичную обмотку из питающей бытовой электросети, равна мощности P_2 , отводимой из вторичной обмотки трансформатора для нагрева катода лампы ГУ-81М, то есть $P_1=P_2$. Из этого условия сила тока в первичных последовательно соединенных обмотках 1-2 и 1'-2' трансформатора ТС-160-3 определяется выражением $I_1=P_1/U_1=P_2/U_1=136,5\text{Вт}/220\text{В}=0,62\text{А}<0,65\text{А}$. Рабочая величина силы тока в первичных обмотках трансформатора под нагрузкой будет равна 620 мА, а допустимая величина равна 650 мА. Это означает, что трансформатор применять на таком режиме работы можно, он будет работать на $620\text{мА}/650\text{мА}\cdot 100\%=95,4\%$ от допустимой нагрузки по силе тока в первичной обмотке, то есть с «запасом прочности» по току в первичной обмотке $650\text{мА}/620\text{мА}=1,04$. Такой режим работы является штатным и вполне допустимым для трансформатора ТС-160-3.

4-й расчет по напряжению вторичной обмотки

Вторичные обмотки 4-7 и 4'-7' трансформатора ТС-160-3 по паспорту имеют рабочее напряжение ~ 13 В при питании от бытовой электросети ~ 220 В. Для увеличения силы тока эти обмотки надо соединить параллельно попутно, при этом рабочее напряжение $U_2=13$ В не изменится. Первый опыт параллельного соединения вторичных обмоток 4-7 и 4'-7' трансформатора ТС-160-3 оказался неудачным, потому что были соединены клеммы 4-4' и 7-7'. После включения в бытовую электросеть ~ 220 В трансформатор сразу громко загудел, поэтому тут же был выключен, но нагрелся очень сильно. Это означает, что обмотки 4-4' и 7-7' были соединены параллельно, но встречно. На электрической схеме точками обозначены начала обмоток. Однако надо помнить, что трансформатор ТС-160-3 стержневой, а не броневой. Трансформатор имеет две одинаковые катушки, надетые на стержневой 0-образный сердечник. Но если мысленно переместить по сердечнику одну катушку, то она перевернется, когда займет положение второй катушки. Это означает, что начало обмотки на одной катушке становится окончанием обмотки на другой катушке. Следовательно, соединять надо не «точку с точкой», а «точку с пустотой». Пример правильного соединения, но последовательного попутного показан на схеме в первичных обмотках. После перекрестного соединения клемм 4-7' и 4'-7 трансформатор заработал правильно.

5-й расчет по току вторичной обмотки

Вторичные обмотки 4-7 и 4'-7' трансформатора ТС-160-3 по паспорту имеют допустимый ток 6 А. При параллельном попутном соединении этих обмоток рабочее напряжение не изменилось, а ток удвоился и стал равен 12 А. Для накала катода лампы ГУ-81М требуется рабочий ток 10,5 А. Это означает, что трансформатор по току вторичной обмотки будет работать на $10,5\text{A}/12\text{A} \cdot 100\% = 87,5\%$, то есть с «коэффициентом запаса по прочности» $12\text{A}/10,5\text{A} = 1,14$. Такой режим работы по силе тока вторичных обмоток является допустимым для трансформатора ТС-160-3.

Общий вывод – трансформатор ТС-160-3 может быть применен для нагрева катода лампы ГУ-81М.

5. Анализ качества напряжения бытовой электросети

После доказательства возможности накала катода с помощью трансформатора

ТС-160-3 надо определить, сможет ли мощный генераторный пентод ГУ-81М работать с правильным накалом при колебаниях напряжения в бытовой электросети. Величина напряжения в бытовой электросети в среднем может отклоняться от значения ~ 220 В на 10% в обе стороны. Это отклонение допускается Межгосударственным стандартом [4]. По этому стандарту напряжение в бытовой электросети должно находиться в пределах от $220\text{В} \cdot 0,9 = 198\text{В}$ до $220\text{В} \cdot 1,1 = 242\text{В}$. Следовательно, мощный генераторный пентод ГУ-81М должен надежно работать в пределах напряжений питания первичной обмотки трансформатора 198-242 В. Прежде всего, это касается напряжения накала катода.

Для изучения возможности работы пентода ГУ-81М от бытовой электросети было проведено точное измерение характеристик накала катода.

Оказалось, что минимально допустимое напряжение накала катода 11,8В достигается при напряжении в бытовой электросети 208 В, то есть на 10 В выше нижнего допустимого значения по Межгосударственному стандарту ГОСТ-32144-2013. Это означает, что для нормальной работы радиолампы нижнее отклонение напряжения бытовой электросети должно составлять не -10%, как указано в Межгосударственном стандарте ГОСТ-32144-2013, а $-(220-208)\text{В}/220\text{В} \cdot 100\% = -5,5\%$.

При изучении допустимого верхнего значения напряжения бытовой электросети оказалось, что правильный накал радиолампы ГУ-81М, максимально допустимый с напряжением на катоде 13,5 В, достигается при напряжении в бытовой электросети не 242 В, а 237 В. Это означает, что допустимое превышение нормального напряжения бытовой электросети составляет не 10% по Межгосударственному стандарту ГОСТ-32144-2013, а $+(237-220)\text{В}/220\text{В} \cdot 100\% = +7,7\%$.

Из проведенных измерений можно сделать вывод, что качество электроснабжения бытовой электросети с колебаниями напряжения -10%+10% не сможет обеспечить правильный разогрев катода мощного генераторного пентода ГУ-81М, потому что для нормальной работы и правильного нагрева катода радиолампы допускается колебание напряжения от стандартного значения ~ 220 В в пределах -5,5%+7,7%.

Следовательно, необходимо поставить стабилизатор напряжения первичной обмотки трансформатора ТС-160-3. Такие стабилизаторы широко применялись для правильной работы ламповых телевизоров. Например, хорошо зарекомендовал себя

магнитный стабилизатор напряжения «Жигули» с мощностью потребителя до 200 Вт. Однако внешний дополнительный стабилизатор напряжения значительно увеличит массу конструкции, не менее чем на 4-5 кг и даже больше. Одновременно увеличиваются габаритные размеры устройства.

6. Физика разрушения перегретого или недогретого катода

Как решить техническую задачу улучшения качества электропитания без дополнительных больших и тяжелых устройств? Для решения этой технической задачи в основу было положено общепринятое в радиотехнике правило: «Катод любой радиолампы лучше немного перегреть, чем немного недогреть!» Это правило связано с особенностями работы катода, когда на него подано отрицательное рабочее напряжение относительно анода.

Если катод нагрет правильно, то электроны с катода без затруднений перелетают на анод под действием сильного электростатического анодного поля. При хорошем разогреве катода электроны находятся рядом с ним в свободном состоянии термоэлектронном облаке, поэтому электростатическое анодное поле сразу подхватывает их и увлекает к положительно заряженному аноду, не воздействуя на разогретый катод.

Если катод нагрет мало, то термоэлектронное облако вокруг него будет слабым, не достигнет насыщения, потому что часть электронов будет связана с металлом катода. Однако сильное электрическое поле анода будет действовать, как и при разогретом катоде. Очень сильное электростатическое поле анода подхватит не только термоэлектроны, которых в облаке вокруг «холодного» катода мало, но и металлические частицы катода с отрицательным зарядом от тех электронов, которые не перешли в электронное облако из-за маленькой температуры катода. Металлические частицы катода с отрицательным зарядом будут ускорены электростатическим анодным полем, а потом с большой скоростью упадут на анод. Анод начнет разрушаться. Более того, если анодное напряжение высокое, как в мощном генераторном пентоде ГУ-81М, то ускоренные металлические частицы катода могут пробить анод, потом с высокой скоростью продолжить движение к стеклянному горячему, разогретому до 350°C , стеклянному баллону радиолампы, пробить тонкое стекло, взорвав радиолампу. Такие случаи на практике уже были. Доказательством этому является цитата из Интернета при обсуждении работы радиоламп при нерасчетных режимах, приведенная здесь без малейших

изменений для передачи не только физической сущности явления, но и эмоций автора (<http://www.cqham.ru/forum/archive/index.php/t-3219.html>):

«...ГУ-5Б стреляли ну очень громко и страшно! остатки блокировочных, по сетке, конденсаторов разлетались со скоростью осколков ручной гранаты! Физика жесточения на мой взгляд такая...»

Перегревать катод радиолампы тоже нельзя, потому что он просто перегорит. Конечно перегорание нити накала катода радиолампы не сопровождается взрывом стеклянного баллона, можно увидеть только яркую вспышку внутри лампы, но после этого радиолампа полностью выходит из строя, поэтому ее можно будет сразу выбросить или использовать как наглядный учебный материал, естественно, не работающий.

На рис. 4 показана схема и последствия работы недогретого и перегретого катода радиолампы.



Рис. 4. Схема разрушения недогретого или перегретого катода лампы

Напряжения питания для нагрева катода лучше сделать немного, например, на 0,2 В, выше нормального 12,6 В, но в пределах допустимых значений 11,8-13,5 В, чем немного ниже, даже на 0,1 В. Но тогда появляется другая проблема – резкий нагрев катода. Холодный катод обладает маленьким электрическим сопротивлением, поэтому в момент включения через него течет большой ток, выше допустимого значения 10,5 А. Нить накала катода может перегореть во время включения. Лампочки освещения часто перегорают именно при включении, потому что они холодные. Появилась очередная техническая задача защиты катода дорогой радиолампы от перегорания в момент включения.

7. Диммерная схема плавного разогрева катода

Для уменьшения первичного тока в холодном катоде в первичную обмотку трансформатора ТС-160-3 последователь-

но включен обычный бытовой диммер для плавной регулировки яркости осветительных ламп. Такие диммеры продают в магазинах электротоваров. Стоимость полупроводникового диммера находится в пределах от 300 рублей до 1500 рублей. Для лабораторной установки был куплен диммер стоимостью 560 рублей. Такие затраты вполне оправданы, потому что стоимость новой лампы ГУ-81М в Москве доходит до 15000 рублей, а лампы 20-30-летней давности со склада продают за 2000-3000 рублей. В магазине «Чип и дип» цена лампы составляет 2440 рублей, но только под заказ с непонятным годом производства. По такой цене обычно предлагают бывшие в употреблении радиолампы. В нашем школьном кружке есть три радиолампы ГУ-81М, поэтому их надо беречь, пусть даже пришлось затратить 500 рублей на диммер. Диммер имеет собственный включатель и обеспечивает плавную регулировку напряжения питания первичной обмотки от 0 В до максимального значения. Но и здесь появилась дополнительная техническая задача, потому

что диммер уменьшил напряжение питания первичной обмотки трансформатора на 15 В, то есть падение напряжения на диммере составило 15 В. Этот недостаток был устранен дополнительным ключом, который шунтирует диммер после плавного разогрева катода. Схема работает следующим образом. Сначала вручную включают диммер, а потом очень плавно и медленно повышают напряжение в течение приблизительно 10 секунд до максимального значения. После этого радиолампа выдерживается без анодного напряжения, например, полминуты, катод максимально разогревается, после чего ключом шунтируется диммер. Скачок напряжения 15 В на хорошо разогретом катоде не чувствителен для радиолампы. Работоспособность катода сохраняется.

На рис. 5 показана электрическая схема предлагаемого устройства плавного разогрева катода радиолампы ГУ-81М с приборами для определения вольтамперных характеристик первичной и вторичной обмоток трансформатора под нагрузкой катода радиолампы ГУ-81М.

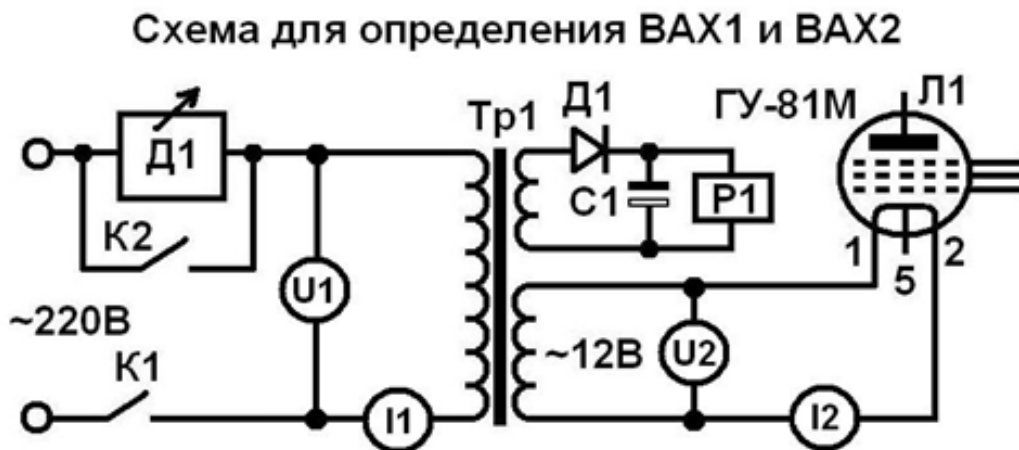


Рис. 5. Схема лабораторной установки

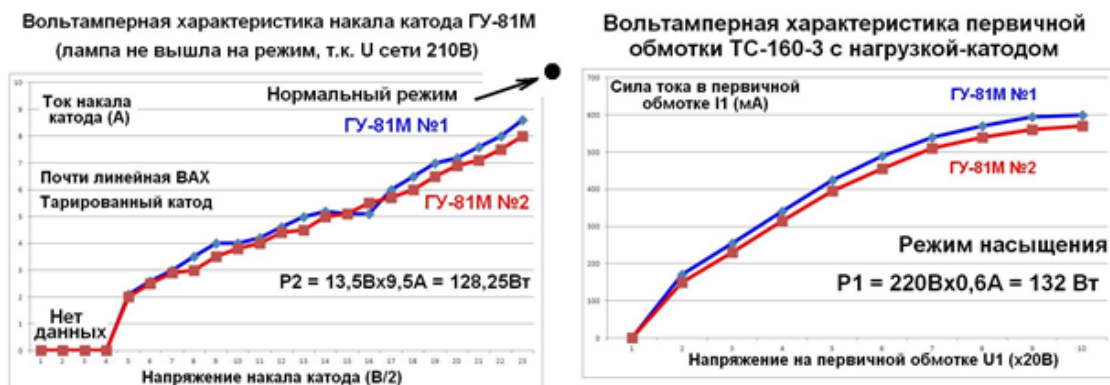


Рис. 6. Вольтамперные характеристики цепи накала

Плавный разогрев катода диммером (падение $U_d=15$ В)

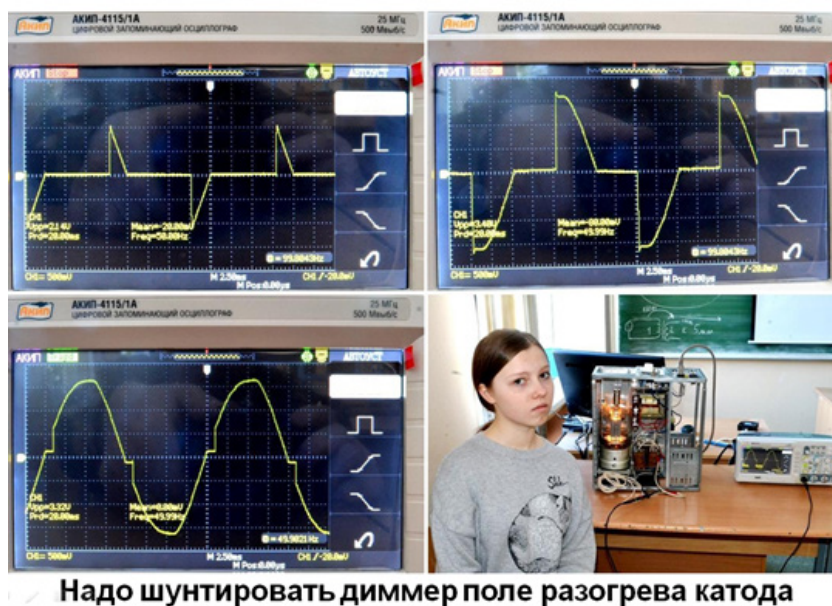


Рис. 7. Осциллограммы плавного разогрева катода

После дополнения схемы устройством для плавного разогрева катода были определены вольтамперные характеристики первичной и вторичной обмоток трансформатора ТС-160-3 с нагрузкой – нитью накала катода радиолампы ГУ-81М. В школьном кружке есть три радиолампы ГУ-81М, две из которых разрешено было испытать. На рис. 6 показаны полученные вольтамперные характеристики первичной и вторичной обмоток трансформатора с нагрузкой – нитью накала катода радиолампы ГУ-81М.

Построенные вольтамперные характеристики подтвердили правильность гипотез и принятых технических решений по правильному разогреву катода мощного генераторного пентода ГУ-81М. Окончательное подтверждение правильности работы предложенной схемы было получено записью осциллограмм на электронном осциллографе АКИП-4115/1А, которые показаны на рис. 7.

На осциллограммах видно, что сразу после включения диммера напряжение минимальное, потом возрастает при повороте регулировочной ручки, но всегда сохраняет скачок-ступеньку приблизительно 15 вольт. Это порог срабатывания полупроводникового диммера. После разогрева катода диммер надо шунтировать, тогда эти 15 вольт падения напряжения вернутся на уже разогретый катод без резкого скачка напряжения.

Заключение

1. Бытовая электросеть не обеспечивает нужное для пентода ГУ-81М качество напряжения 220В (-10%+10%), то есть 198-242 В.
2. Для схемы с пентодом ГУ-81М требуется качество напряжения 220В (-5%+7%), то есть 208-237В.
3. Желателен плавный разогрев катода, например, с помощью диммера.
4. Необходимо шунтировать диммер проводом после разогрева катода.
5. В ламповых схемах опять возвращаемся к тяжелому стабилизатору напряжения.
6. Низковольтную цепь нагрева катода можно дополнить защитой высоковольтной анодной цепи от работы при «холодном» катоде.

Список литературы

1. ГУ-81М генераторный пентод. Радиолампа ГУ 81М (4К, ULTRA HD) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: youtu.be/aBMwBFwUUo
2. Сидоров И.Н., Скорняков С.В. Трансформаторы бытовой радиоэлектронной аппаратуры: справочник. – 2-е изд., доп. – М: Радио и связь; Горячая линия – Телеком, 1999. – 336 с: ил.
3. Резисторы, конденсаторы, трансформаторы, дроссели, коммутационные устройства РЭА: справочник / Н.Н. Акимов, Е.П. Вашук, В.А. Прохоренко, Ю.П. Ходоренко – Мн.: Беларусь, 1994. – 591 с: ил.
4. ГОСТ-32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: государственный стандарт; межгосударственный стандарт.
5. Молочная А.А. Защита цепи накала мощного лампового генераторного пентода ГУ-81М // Современные проблемы физики и технологий: тезисы докладов VII Междунар. молодежная науч.школа-конференции, 16-21 апреля 2018 г. – Часть 3. – М.: НИЯУ МИФИ, 2018. – 72 с. – ISBN 978-5-7262-2468-8. – С. 48-49.