

6
А-59

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ С С С Р

МОСКОВСКИЙ ордена ЛЕНИНА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ

АМИРЯН Р.А.

На правах рукописи

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ ФЛУКТУАЦИОННЫХ ЯВЛЕНИЙ
С ЭМИССИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ ОКСИДНОГО КАТОДА

(Специальность № 269 - "Электронная
техника и приборы)

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

МОСКВА

1969 г.

Работа выполнена на кафедре "Электронные приборы"
Московского ордена Ленина энергетического института

Научный руководитель к.т.н., доц. Э.Ю.КЛЕЙНЕР

Официальные оппоненты: д.т.н. С.А.КОРНИЛОВ
к.т.н. А.К.НАРЫШКИН

Ведущее предприятие указано в решении Ученого Совета

Автореферат разослан "___" _____ 1969 г.

Защита состоится "___" _____ 1969 г.

На заседании Совета по присуждению ученых степеней
факультета Электронной техники Московского энергетического
института

Отзывы просим направлять по адресу: Москва, Е-250,
Красноказарменная д. 14, Совет МЭИ

О дне защиты будет объявлено в газете "Вечерняя
Москва". С диссертацией можно ознакомиться в
библиотеке института.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ

В.АКСЕНОВ

В В Е Д Е Н И Е

Основными проблемами производства электровакуумных приборов с оксидным катодом является улучшение их параметров и повышение надежности и долговечности. Надежность и долговечность этих приборов во многом определяется качеством катодов, что накладывает высокие требования к усовершенствованию методики оценки их качества. Электрические флуктуации (шумы), возникающие при работе приборов, могут быть одним из критериев качества катодов; они также лимитируют чувствительность приборов и поэтому их обычно стремятся уменьшить до минимума. Настоящая диссертационная работа направлена на решение двух основных задач - изучение с помощью шумов процессов, протекающих при работе катода, и снижение уровня собственного шума электровакуумных приборов.

В диссертационной работе рассматриваются флуктуационные явления в широком диапазоне частот - от единиц герц до десятков мегагерц. Шум в этом диапазоне частот можно разделить на два вида: дробовый и низкочастотный (НЧ). Первый характеризуется постоянством спектральной плотности мощности в рассматриваемом диапазоне частот, а второй обладает ярко выраженной частотной зависимостью. На частотах ниже примерно 10 кгц преобладает НЧ шум, на

Центральная библиотека
Академии наук Кирг. ССР
ИРФЭ ИИМ
Киргизской ССР
1970
им. Н.Г. Чернышевского

Центральная библиотека
Академии наук Кирг. ССР

Теория дробового шума разработана достаточно полно и пути его снижения известны. Но информативность и методика использования дробового шума для оценки эмиссионной способности катода не были детально установлены. Решению этой задачи посвящена первая часть работы.

Во второй части диссертационной работы изучается НЧ шум приборов с оксидным катодом. Природа НЧ шума пока полностью не выяснена несмотря на большое количество работ на эту тему. Имеющиеся в литературе экспериментальные данные и различные предположения о механизме возникновения НЧ шума носят противоречивый и зачастую взаимоисключающий характер. Отсутствие ясных представлений о природе этого явления затрудняет проведение работ по снижению уровня внутрилампового шума. Анализ литературных данных показывает, что возникновение НЧ шума при работе приборов в номинальных режимах обусловлено не только катодом, но и рядом других факторов. Факторы эти, вероятно, могут быть устранены путем соответствующего усовершенствования технологии изготовления прибора или изменения режима его работы. Принципиально неустраняемыми являются только низкочастотные флуктуации тока эмиссии катода, которые мы будем называть фликкер-шумом. Эта составляющая НЧ шума представляет собой интерес как возможная характеристика качества и свойств оксидного катода.

ЧАСТЬ I (ГЛАВА I) ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРОБОВОГО ШУМА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭМИССИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ОКСИДНОГО КАТОДА.

Эксплуатационные характеристики катода зависят не только от среднего значения тока эмиссии, но и от равно-

мерности распределения его по поверхности катода. Поэтому для оценки эмиссионной способности катода предложено использовать два параметра, один из которых должен характеризовать абсолютное значение тока эмиссии, а другой - равномерность распределения его по поверхности катода. Среднее значение тока эмиссии можно измерить методом коротких одиночных импульсов, а равномерность распределения его по катоду можно оценить по характеристикам лампы в области перехода из режима ограничения тока пространственным зарядом к режиму насыщения. У ламп с идеально равномерным катодом зависимости некоторых параметров от I_a или I_a в этой области должны были бы иметь довольно резкий перелом или даже разрыв. Если же плотность тока эмиссии не одинакова на всей поверхности катода, то отдельные участки катода будут переходить из одного режима в другой не одновременно, а последовательно. В результате в переходной области характеристики не будет перелома, а будет плавный переход. Критерием для оценки эмиссионной однородности катода может служить степень отклонения рассматриваемой зависимости в области перехода от аналогичной зависимости для ламп с тем же значением общего тока эмиссии, но более равномерно распределенным по поверхности катода.

Проведенный в работе анализ показывает, что использование дробового шума в качестве критерия оценки эмиссионной однородности катодов наиболее целесообразно либо тогда, когда имеют дело с хорошо активированными катодами и важно обнаружить начало их дезактивации, либо тогда, когда необходимо зафиксировать достижение наибольшей активности катодов в процессе их технологической обработки. При выборе режима

измерения шума необходимо учитывать возможное влияние неравномерности температуры и электрического поля у катода, а также влияние остаточных газов. Измерения шума рекомендовано проводить в триодном включении лампы, так как влияние вторичных и отраженных от анода электронов не позволяет проводить измерения в диодном включении, где неравномерность поля у катода минимальна. Напряжения на аноде и на сетке лампы при этом должны быть малы по абсолютной величине, а напряжение накала лампы составлять примерно $2/3$ от номинального. Расчеты и специальные эксперименты показали, что влиянием остаточных газов для всех типов ламп можно пренебречь, если ионные сеточные токи меньше $0,01$ мка.

В качестве примера использования предложенной методики производилась оценка существующего и подбор нового режима тренировки катода металлокерамических СВЧ триодов. Было подтверждено, что достижение наивысшей активности катода легче всего фиксировать по уровню дробового шума. Поэтому методом дробовых шумов можно с большой точностью определять оптимальное время тренировки катода в заданном режиме, а по максимуму тока эмиссии - оптимальную температуру тренировки. Исследование нескольких различных режимов тренировки показало, что для достижения высокой активности катода при тренировке без отбора тока требуется самая высокая температура катода и наибольшая длительность тренировки, что с ростом тока отбора эти величины уменьшаются, но начиная с плотности тока порядка 100 ма/см^2 слабо зависят от него. Оптимальная температура тренировки катода в режиме с токоотбором оказалась около 1250° К . Замена существующих генераторных режимов тре-

нировки на подобранные в работе позволила существенно упростить этот технологический процесс, сократить необходимое оборудование и снизить трудоемкость.

ЧАСТЬ II.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЧ ШУМА ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ

С ОКСИДНЫМ КАТОДОМ

Глава II. Обзор литературы.

Большинство экспериментальных данных для спектральной плотности шумового тока $i_{шф}^2$ на низких частотах подчиняется эмпирической зависимости: $i_{шф}^2 \sim I_a^2 \cdot f^{-1}$, где f - частота. В опубликованных работах отмечается, что интенсивность НЧ шума может различаться на несколько порядков даже у разных экземпляров ламп одного типа. Предполагается, что основным источником НЧ шума является катод лампы, поэтому все теории, предложенные для объяснения природы НЧ шума, связывают его с эмиссионными свойствами катода. Авторами основных теорий являются: Шоттки (1926 г.), Макфарлан (1950 г.), Малахов (1959 г.), Ван-Злит и Джонсон (1964 г.). Но ни одна из предложенных теорий не объясняет всей совокупности известных экспериментальных результатов.

Одной из возможных причин несоответствия предложенных теорий с результатами измерений является влияние некоторых факторов, не связанных непосредственно с катодом, но приводящих к генерации дополнительных составляющих НЧ шума. Эти факторы следующие:

а) Влияние пленок окислов на аноде (анодный эффект). Ханнам и Ван-дер-Зил обнаружили прирост НЧ шума при замене чистого анода на анод, покрытый пленками окислов щелочнозе-

мельных металлов. Они объяснили это дезактивирующим влиянием на катод молекул, образовавшихся под действием электронной бомбардировки анода. Однако, приведенные в работе данные не исключают возможности, что флуктуации потенциала поверхности анода вносят также вклад в общий шум за счет возможных флуктуаций поперечного сопротивления анодных пленок или контактной разности потенциала. Для уточнения природы анодного эффекта необходимо дополнительное обследование.

б) Влияние остаточных газов. Малахов и Дуоровин обнаружили прирост НЧ шума, объясняемый ими ионизацией остаточных газов, но детальное представление о механизме этого явления по их экспериментальным данным составить нельзя.

в) Влияние промежуточного слоя. Линдемани и Ван-дер-Зил нашли, что промежуточный слой вызывает увеличение уровня НЧ шума приборов, а Зикеш позднее подтвердил это и показал, что причиной прироста шума являются флуктуации величины этого сопротивления, в результате чего происходит модуляция анодного тока. При сопротивлении промежуточного слоя до 10 ом влияние его на НЧ шум не обнаруживается, по крайней мере, при плотности тока до 20 ма/см^2 и крутизне характеристики приборов до 5 ма/в.

г) Влияние отраженных и вторичных электронов. Такое влияние может оказаться существенным только в том случае, когда элементарные акты возникновения вторичных или отраженных электронов сопровождаются инерционными эффектами (например, малтеровской эмиссией), то-есть при достаточно высоких напряжениях на электродах и при наличии коллектора вторичных электронов.

Глава III. Установка для измерения спектра НЧ шума электронных приборов.

Промышленностью пока не выпускается оборудование, пригодное для измерения спектра НЧ шума в диапазоне частот от 1 гц до 10 кгц. Поэтому для проведения исследований была сконструирована и изготовлена специальная измерительная установка. Принцип её работы основан на прямом методе измерений с использованием калибровки от известного генератора шума. Блок-схема установки включает в себя входное устройство, предусилитель, анализатор спектра, индикаторный прибор, осциллограф и блоки питания. Общий коэффициент передачи усилительного тракта установки более 10^7 . Показания индикаторного прибора пропорциональны средней мощности входного шумового сигнала в определённой полосе частот вблизи от частоты измерения. Анализ по спектру производится последовательно на 13 фиксированных частотах: 2, 4, 12, 20, 40, 70, 170, 350, 700, 1400, 2500, 5000, 10000 гц. Добротность избирательного усилителя в анализаторе примерно одинакова на всех частотах измерения и численно близка к 10. Постоянная времени интегрирующего устройства анализатора разная на разных частотах измерения. Она выбиралась таким образом, чтобы погрешность измерений из-за вероятностного характера измеряемого сигнала не превышала 25%. Калибровка установки производилась регулярно по тепловому шуму активного сопротивления и по дробовому шуму лампы с вольфрамовым катодом, работающей в режиме насыщения. Чувствительность установки на частоте 2 гц не хуже $2 \cdot 10^{-14} \text{ в}^2/\text{гц}$; на более высоких частотах она выше. На 10 кгц чувствительность установки составляет около $10^{-17} \text{ в}^2/\text{гц}$. Это позволяет измерять шум приборов,

если их внутреннее сопротивление больше примерно 7 ком.

Глава IV. Исследование некоторых составляющих
НЧ шума приборов с оксидным катодом.

Анализ литературных источников позволяет заключить, что НЧ шум электровакуумных приборов обусловлен рядом сравнительно независимых друг от друга факторов. В результате общий уровень шума может быть гораздо выше, чем фликкер-шум катода. Исследование природы составляющих НЧ шума, дополнительных к шуму катода, необходимо, во-первых, потому, что уменьшение уровня НЧ шума приборов в первую очередь должно быть связано с устранением причин, приводящих к генерации этих дополнительных составляющих. Исследование их природы, во-вторых, необходимо для подбора таких режимов работы прибора, при которых влияние всех побочных факторов на шум будет исключено, и поэтому может быть снят истинный спектр фликкер-шума катода.

а) Исследование анодного эффекта.

Для выяснения роли возможных флуктуаций потенциала поверхности анода в этом эффекте были проведены опыты со специально сконструированными приборами, имеющими вращающийся анод и два катода - оксидный и вольфрамовый. Вольфрамовый катод, в отличие от оксидного, практически нечувствителен к отравлению. Поэтому при работе его в сочетании с "чистой" поверхностью анода, то-есть участком анода, свободным от продуктов напыления с оксидного катода, а затем с "грязной" поверхностью анода прирост шума в последнем случае может быть вызван только флуктуациями потенциала анода. Измерения шума при работе оксидного катода с отбором тока пооче-

редно на "чистый" и "грязный" анод позволяет оценить анодный эффект в целом. Геометрия рабочей части и начальные вакуумные условия в приборе оставались неизменными.

Проведенные эксперименты показали, что флуктуации потенциала поверхности анода практически не сказываются в анодном эффекте, по-крайней мере, на частотах выше единиц герц. При плотности тока до 5 ма/см² анодный эффект проявляется только при пониженных температурах катода и в приборах, конструкция которых характеризуется большой вероятностью попадания нейтральных молекул с анода на катод.

б) Составляющая НЧ шума, обусловленная эмиссией положительных ионов оксидным катодом.

В процессе измерения НЧ шума ламп с оксидным катодом в области частот 10²-10³ гц в ходе спектра регулярно обнаруживались характерные перегибы. Эти перегибы становились особенно заметными при повышенной температуре катода. Анализ полученных данных и сопоставление их с результатами исследования Линдеманном и Ван-дер-Зилом аномального НЧ шума ламп с вольфрамовым катодом позволили предположить, что причиной этого является локальное воздействие на электронный пространственный заряд положительных ионов, эмиттированных катодом. Эти ионы, попадая в область минимума пространственного заряда, захватываются им и находятся там гораздо дольше, чем электроны; они, вероятно, совершают колебательные движения вблизи потенциального минимума до рекомбинации с электронами. Нейтрализуя большое число электронов, эти ионы создают небольшие по величине импульсы анодного тока i длительностью τ . Суперпозиция таких импульсов, возникающих по случай-

ному закону, может создать шум, спектр которого определяется соотношением:

$$\overline{i_{шф}^2} = \frac{4 N i_0^2 \tau_0^2}{1 + \omega^2 \tau_0^2}$$

где N - среднее число импульсов в 1 сек.,
 i_0 - средняя амплитуда импульсов тока,
 τ_0 - средняя длительность импульсов,
 ω - круговая частота.

Наблюдаемые экспериментально перегибы на спектрах хорошо объясняются присутствием составляющих шума со спектрами, подчиняющимися приведенной зависимости.

Величина τ_0 означает среднее время взаимодействия ионов с пространственным зарядом. С увеличением температуры катода величина τ_0 уменьшается, так как количество эмиттированных ионов и плотность пространственного заряда возрастают, а вероятность рекомбинации их увеличивается. Величина τ_0 согласно полученным данным близка к 10^{-4} сек., что совпадает с данными для τ , полученными при исследовании ламп с вольфрамовым катодом, когда ионная составляющая шума была надёжно установлена.

в) Составляющая НЧ шума, обусловленная влиянием ионизации остаточных газов.

Для выяснения роли этой составляющей измерялись спектры шума одних и тех же ламп в диодном ($U_a < 5$ в.) и триодном ($U_a = 100 - 200$ в.) включениях при одинаковых температурах катодов и анодных токах. Так как потенциал ионизации основных остаточных газов близок к 14 в., а максимум функции ионизации этих газов находится в области 100 - 200 в.,

то во втором случае в отличие от первого, шум может возрасти из-за влияния ионизации этих газов. Результаты таких экспериментов показали, что при нормальной и повышенной температурах катода спектр шума в диодном и триодном включениях не изменяется на частотах выше приблизительно 10 гц, а на частотах ниже 10 гц наблюдается заметный прирост шума при работе ламп в триодном включении по сравнению с диодным. Аналогичные данные получены при измерении спектра НЧ шума триодов, работавших в разных режимах. Рост шума на частотах ниже 10 гц наблюдался в этих случаях при напряжениях на анодах ламп выше 30 в. Природа возникновения этого вида шума, по-видимому, связана с появлением небольших, но длительных импульсов анодного тока вследствие ионной бомбардировки оксидного катода. Такое предположение согласуется с результатами исследования Аброяном ионно-электронной эмиссии оксидного катода. В работах Аброяна были обнаружены инерционность ионно-электронной эмиссии и аномально большое число эмиттированных электронов на один ион (до нескольких тысяч).

Глава V. Исследование фликкер-шума оксидного катода.

Анализ литературных данных и результаты проведенного исследования составляющих НЧ шума позволили подобрать два режима работы приборов, при которых влияние всех известных побочных факторов либо исключается, либо их можно учесть:

1. Измерение шума проводится в диодном включении прибора при очень низкой температуре катода, позволяющей достичь режима насыщения при $U_a < 5$ в.

2. Измерение проводится при работе прибора в триодном включении при нормальной или повышенной температуре катода,

$U_c = 0$ в. и $U_a < 5 (30)$ в.

В обоих случаях внутреннее сопротивление лампы достаточно велико, а демпфирующее действие пространственного заряда на шум практически не влияет. Это способствует повышению точности измерений шума и облегчает интерпретацию полученных результатов.

При работе в указанных режимах измерялся шум большого количества различных ламп. При этом измерялись как различные экземпляры ламп одного типа, так и лампы разных типов. Форма спектра фликкер-шума у всех ламп была аналогичной, несмотря на различия в конструкции ламп, технологии их изготовления и использованных материалах электродов. Это позволило заключить, что наблюдаемый тип спектров шума типичен для оксидного катода вообще. На высоких частотах зависимость спектральной плотности шума от частоты близка во всех случаях к типу $f^{-3/2}$, а на более низких частотах ход спектра выравнивается. В режиме глубокого недокала на инфранизких частотах ход спектра быстро переходит к совершенно пологому участку, а при нормальной температуре катода имеется заметный участок спектра с частотной зависимостью типа $f^{-1/2}$. Полученные формы спектров противоречат всем теориям фликкер-шума, предсказывающим зависимость спектральной плотности от частоты типа $f^{-\alpha}$ во всем частотном диапазоне, и качественно согласуется лишь с выводами теории Ван-Влита и Джонсона. Единообразие формы спектров шума у всех обследованных ламп говорит об одинаковом во всех случаях механизме генерации шума. Это служит косвенным подтверждением того, что на результаты измерения не влияли какие-ли-

бо неконтролируемые и меняющиеся от лампы к лампе физико-химические процессы, не связанные с эмиссионными свойствами катода.

На отдельных типах ламп исследовалось влияние анодного тока, температуры и эмиссионной способности катода на фликкер-шум, так как эти важнейшие зависимости не были однозначно установлены до сих пор.

а) Зависимость уровня фликкер-шума от величины анодного тока.

Для изучения этой зависимости строились точечные диаграммы соответствия уровня фликкер-шума и анодного тока для разных экземпляров ламп, работавших в близких режимах, но при разных значениях анодных токов. Полученные диаграммы показывают, что между этими величинами имеется корреляционная связь, близкая к зависимости типа: $i_{шf}^2 \sim I_a^2$. Существование такой связи показывает, что можно создать простой генератор "белого" шума на лампе с оксидным катодом. Объясняется это тем, что при малых анодных токах в режиме насыщения уровень фликкер-шума становится ниже уровня дробового, так как последний пропорционален I_a , и поэтому, по крайней мере, в обследованном частотном диапазоне "белый" дробовый шум, уровень которого точно известен, будет превалировать. Таким образом, можно получить калиброванный источник шумового тока в полосе частот не менее, чем от 1 гц до 20 кгц.

б) Зависимость фликкер-шума от температуры катода.

Эта зависимость исследовалась только в работе Ван-Влита и Джонсона, но, как показали специально проведенные опыты, спектры шума в этой работе снимались при разных значе-

ниях T_k , но при одновременной сильной дезактивировке катода. Это не позволяет правильно трактовать полученные данные. В настоящей работе эта зависимость исследовалась при неизменной активности катода в области нормальных и повышенных значений T_k . При росте T_k уровень фликкер-шума снижался, а участок спектра типа $f^{-1/2}$ выделялся сильнее, переходя к спектру типа $f^{-3/2}$ на более высоких частотах.

в) Зависимость фликкер-шума от эмиссионной способности катода.

В литературе нет надежных данных об этой зависимости. В этой работе она исследовалась при искусственной дезактивировке катода разными способами и при испытании на срок службы. Во всех случаях результаты были одинаковые. Уровень фликкер-шума при дезактивировке катода возрастал, а форма спектра изменялась слабо. Минимум фликкер-шума соответствовал максимуму тока эмиссии катода. Такое соответствие наблюдалось как для отдельных ламп, так и для всей совокупности ламп одного типа. Полученные в работе экспериментальные данные указывают на то, что для снижения уровня фликкер-шума катод лампы необходимо поддерживать в состоянии максимальной активности. Эти выводы не подтверждают рекомендации, данные на этот счет в работе Ван-Влита и Джонсона.

Для проверки количественного совпадения теории Ван-Влита и Джонсона с полученными экспериментальными результатами по спектрам шума были рассчитаны согласно теории некоторые физические постоянные оксидного катода. Сравнение их

со значениями, полученными непосредственными измерениями, показало, что они по порядку величин не совпадают. Так, например, рассчитанный коэффициент диффузии близок к 10^{-8} см²/сек, то-есть оказался на 3 - 4 порядка больше, чем измеренный методом меченых атомов для диффузии бария, и на порядок больше коэффициента диффузии центров окрашивания. Электропроводность получилась близкой к 10^{-8} ом⁻¹см⁻¹, что на 2 - 4 порядка меньше, чем для двойных оксидов и даже чистой окиси стронция. Получить совпадение значений, например, для коэффициентов диффузии, измеренных методом меченых атомов, с результатами расчета по спектру фликкер-шума можно лишь в том случае, если предположить, что процессы, вызывающие флуктуации тока эмиссии катода, протекают в слое зерен оксида глубиной не 500 Å, как предполагают Ван-Влит и Джонсон, а в слое толщиной всего в несколько постоянных кристаллической решетки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты диссертационной работы сводятся к следующему:

1. Предложено использовать дробовый шум для оценки равномерности распределения тока эмиссии по поверхности катода. Показано, что в сочетании с параметром, характеризующим среднее значение тока эмиссии, он может служить чувствительным критерием эмиссионной способности катода.

2. Установлено, что НЧ шум ламп с оксидным катодом содержит кроме низкочастотных флуктуаций тока эмиссии катода (фликкер-шума) ряд дополнительных составляющих. Чтобы

ГРБ Киргизской ССР
1970
им. Н.Г. Чернышевского

исключить их влияние, необходимо выяснить механизм и условия их возникновения.

3. Установлено, что составляющая шума, обусловленная анодным эффектом, проявляется только при температурах катода ниже нормальной.

4. Обнаружена и обследована составляющая НЧ шума, обусловленная эмиссией катодом положительных ионов.

5. Обнаружена составляющая шума, появляющаяся при напряжениях на аноде прибора выше 30 в. Она увеличивает уровень НЧ шума главным образом на частотах ниже 10 гц.

6. Результаты обследования составляющих НЧ шума, дополнительных к шуму катода, показали, что основной путь снижения уровня собственного шума приборов заключается в уменьшении этих составляющих. Кроме того, это позволило подобрать такие режимы измерения шума, при которых фликкер-шум катода можно получить в чистом виде.

7. Исследованы зависимости фликкер-шума от тока, температуры и эмиссионной способности катода.

8. Показана принципиальная возможность использовать фликкер-шум для оценки эмиссионных свойств оксидного катода.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО МАТЕРИАЛАМ

ДИССЕРТАЦИИ:

1. КЛЕЙНЕР Э.Ю., АМИРЯН Р.А., Удостоверение № 50498 на разработку оптимальной методики измерения эмиссионных свойств катода применительно к СВЧ металлокерамическим триодам, 1965.

2. АМИРЯН Р.А., ВОРОБЬЕВ М.Д., Установка для измерения низкочастотных шумов электронных ламп, Доклады научно-

технической конференции по итогам научно-исследовательских работ за 1966 - 1967 гг., Секция электронной техники, Подсекция электронных приборов, МЭИ, 1967.

3. КЛЕЙНЕР Э.Ю., АМИРЯН Р.А., Исследование анодного эффекта фликкер-шума ламп с оксидным катодом, там же, 1967.

4. АМИРЯН Р.А., КЛЕЙНЕР Э.Ю., Исследование свойств оксидного катода методом фликкер-шума, Тезисы докладов XIII Всесоюзной конференции по эмиссионной электронике, 1968.

5. КЛЕЙНЕР Э.Ю., АМИРЯН Р.А., ВОРОБЬЕВ М.Д., Аномальный фликкер-шум ламп с оксидным катодом, Радиотехника и электроника, № 4, 1969.

6. КЛЕЙНЕР Э.Ю., АМИРЯН Р.А., ЮПКО В.П., Связь фликкер-шума с эмиссионной способностью оксидного катода, Сборник докладов юбилейной конференции МЭИ, принята в печать в феврале 1969 г.