



АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ЛАМП В СОВРЕМЕННОЙ
СХЕМОТЕХНИКЕ

Б.В. Артемьев

iu4@artemiev.su

Б.Б. Исломбоев

islomboev_botir@mail.ru

А.А. Рожков

tema.rozhkov01@yandex.ru

¹Россия, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана (НИУ)

Аннотация: в последнее время полупроводниковые приборы заполнили собой почти все области применения электроники. Но когда-то все начиналось с электронных ламп, прародителей современной электроники. В наши дни их редко где можно встретить, хотя известно, что электронно-вакуумная технология ещё развивается. И если она развивается, значит лампы еще не канули в лету и имеют свое будущее. В каких же областях их применяют и какие перспективы у этой технологии? Данная статья посвящена анализу применения электронных ламп в современной схемотехнике.

Ключевые слова: электронная лампа, радиолампа, схемотехника, полупроводниковые приборы, электроника.

Annotation: Recently, semiconductor devices have flooded almost all areas of electronics applications. But once it all started with electronic lamps, the progenitors of all electronics. Nowadays, they are rarely found anywhere, although it is known that electron vacuum technology is still developing. And if it develops, then the lamps have not yet sunk into oblivion and have their own future. In what areas are they used and what are the prospects for this technology? So there was an idea to analyze the use of electronic lamps in modern circuitry.

Keywords: electronic lamp, radio lamp, circuit engineering, semiconductor devices, electronics.

Введение

Замена ламп полупроводниками произошла не случайно: огромные, громоздкие и очень энергозатратные радиолампы уступали легким, компактным и дешевым полупроводниковым приборам. Полупроводники попросту стали более практичны, чем их предшественники [1]. Например, появление полупроводников позволило существенно уменьшить размеры радиоприемника, что способствовало более удобному использованию оборудования в быту [2]. Эта тенденция уменьшения всего и вся в размерах, постепенно и незаметно привела к тому, что электронные лампы из



бытовых приборов и большинства промышленного оборудования исчезли. Несмотря на значительное преобладание в элементной базе современных электронных схем полупроводниковых элементов и микросхем, электронные лампы по-прежнему пользуются большим спросом для целого ряда применений [3]. Как бы ни были практичны полупроводники, они все же остаются очень чувствительными к различным внешним воздействиям: температуре, радиации, электромагнитным излучениям. Использование полупроводникового оборудования в некоторых отраслях не представляется возможным, поэтому там до сих пор господствуют лампы [4].

Цель этой статьи - проанализировать области применения электронных ламп в современном оборудовании и схемотехнические особенности их подключения.

1. Преимущества и недостатки электронных ламп

Электронные лампы имеют определенное преимущество перед полупроводниками - скорость передачи сигнала: в вакууме электроны движутся быстрее, так как ничего не препятствует их пути. Благодаря этому на лампах можно создать оборудование, которое будет работать на более высоких частотах, чем тот же прибор на полупроводниках.



Рисунок 1 – Преимущества и недостатки электронных ламп

Также радиолампы очень устойчивы к высокому напряжению и обеспечивают высокую мощность: существуют радиовещатели мощностью от 100 ватт до единиц мегаватт на лампах с высоким током накала (более 100 ампер), на полупроводниковых приборах такое повторить не представляется возможным. Меньшие затраты на охлаждение обусловлены самой сутью работы ламп - термоэлектронной эмиссией, то есть они работают за счет нагревания, которое в свою очередь очень не желательно при работе полупроводниковых приборов, которые



могут выйти из строя из-за перегрева. Ко всему прочему, лампы более устойчивы к радиации, тепловым воздействиям и электромагнитным импульсам. Но при всем при этом они проигрывают по размерам (хотя сейчас эту проблему пытаются решить, но об этом позже): создать аналог высокочастотного компьютерного процессора на радиолампах просто не реально. К тому же вес аналогичных приборов на лампах и на полупроводниках может отличаться в десятки раз. Также создание вакуума внутри корпуса ламп довольно таки дорогое по сравнению с производством полупроводникового оборудования (хотя в масштабе массового производства - не факт). Энергоэффективность радиоламп оставляет желать лучшего: для включения нанорадиолампы необходимо напряжение 10 вольт, в то время как для современных транзисторов достаточно 1 вольта.

Таблица 1 - Сравнительный анализ электронных ламп

№	Преимущества	Недостатки
1	Работа на высоких частотах	Колоссальные размеры
2	Отсутствие термочувствительности	Большой вес
3	Устойчивость к высокой мощности	Дорогое производство
4	Устойчивость к радиации	Энергозатратность

Таким образом, лампы - это своеобразный конструктивный элемент со своими преимуществами и недостатками, которые нужно грамотно уметь применить или нивелировать, при проектировании электронных устройств.

2. Области применения электронных ламп

Электронные лампы являются наиболее актуальными в оборонной отрасли, так как в современной военной технике требуется высочайшая работоспособность оборудования в условиях разных внешних воздействий со стороны противника.

К таким областям можно отнести: генераторы LOViMBT, приемно-усилительные до 20 Вт, комбинированные, декоды, пентоды, тетроды, триоды (рисунок 1).



TANQIDIY NAZAR, TAHLILIY TAFAKKUR VA INNOVATSION G'OYALAR

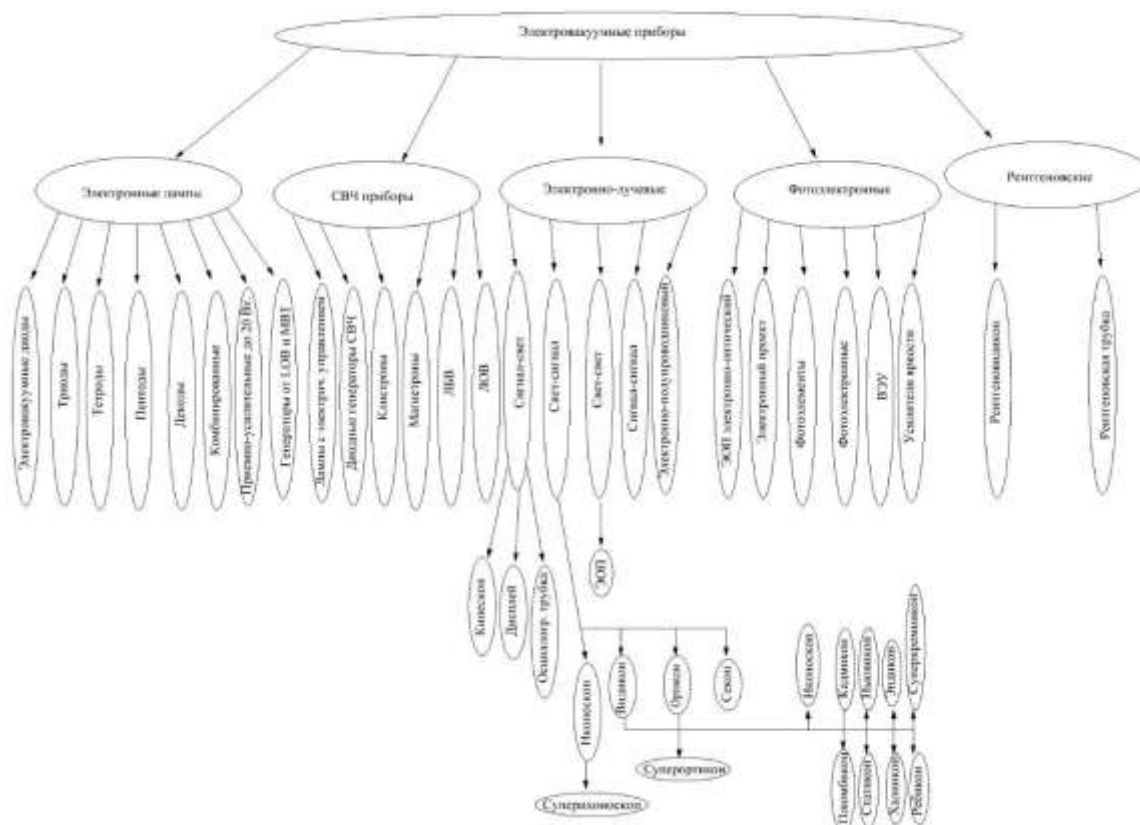


Рисунок 2 - Классификация областей применения электронных ламп

К тому же они используются не только в оборонной отрасли, но и во всей военной отрасли в целом. Например, до сих пор в технологическом процессе подрыва ядерной бомбы в Соединенных Штатах задействуются крайтроны: устройства, входящие в категорию газоразрядных ламп [8]. Вдобавок, военные конструкторы применяют лампы в устройствах, создающих сверхмощные радиоимпульсы, блокирующие работу техники и вооружения противной стороны. Как известно, космос - среда естественного вакуума, где радиационное воздействие - не редкость. Поэтому использование ламп в космических аппаратах является средством повышения их надежности.

Как бы нам ни казалось, что эпоха ламп уже прошла, они все равно окружают нас в повседневной жизни и более мелких областях, чем военная. Например, магнетроны применяются в микроволновых печах и в радарх, а кенотроны используются для выпрямления и быстрой коммутации большого напряжения (десятки и сотни киловольт) на электрических подстанциях для передачи электроэнергии постоянным током [7].

С другой стороны, лампы также применяются в музыкальной и звукозаписывающей аппаратуре: усилители, спроектированные на базе электронных ламп, признаны популярными в среде обладателей тонкого музыкального слуха.



Аудиофилы и музыканты ни за что не откажутся от возможности послушать музыку и насладиться ею и по этой причине музыкальная аппаратура на электронных лампах будет актуальна всегда. Также в профессиональной аппаратуре использующей на уровне концерта непременно установлены усилители с схемой Вильямсона. Высочайшее качество имеет это оборудование hi-end класса. По мнению музыкантов звучание им передается с минимальным искажением. Такие характеристики недоступны усилителям на полупроводниках.

Анализируя все эти области, можно прийти к выводу, что невозможно полностью заменить электронные лампы полупроводниками во всех областях применения электроники, что доказывает вышеизложенные утверждения.

3. Перспективы применения электронных ламп

Основными проблемами использования ламп являются их габариты и высокая энергозатратность. Решением этих проблем и занимались в последние годы ученые с целью повысить целесообразность и конкурентоспособность применения ламп в современных приборах по отношению к полупроводникам. Электронные лампы, по словам исследователя Акселя Шерера, могут стать ключом к повышению производительности транзисторов и снижению потребляемой мощности.

Например, в американском научно-исследовательском центре Эймса ученые пытались создать нечто среднее между транзисторами и старыми вакуумными электронными лампами. В итоге они получили нанорадиолампы. Но к этому решению пришли не сразу. Сначала, для того чтобы оптимизировать работу лампы (время до начала работы, устойчивость к перегревам, уменьшения размеров и энергопотребления...) стали экспериментировать с различными конфигурациями материалов, размеров и конструкций лампы. В итоге это все привело к тому, что их параметры теперь ничем не уступают полупроводниковым аналогам (а в некоторых аспектах (по типу частоты) даже превосходят) при сравнительно небольших размерах. Также ученые в последних исследованиях отказались от идеи создания «чистого» вакуума, потому что в пространстве 150 нм у электронов практически нет шансов столкнуться с атомами присутствующих в лампе газов. Одновременно с этим появилась и небольшая проблема. Для включения нанорадиолампы необходимо напряжение 10 В, в то время как для современных транзисторов достаточно 1 В [3]. Из-за этого нет возможности массово использовать нанолампы в современных микросхемах, пока не будет изобретен соответствующий вольтаж. Хотя для военных и космических целей уже сегодня эти лампы могут быть вполне востребованы.

У вакуумной технологии есть еще много проблем, которые предстоит решить. Когда удастся наладить выпуск десятков тысяч процессоров на электронно-ламповой основе в месяц? Сколько стоит заменить оборудование на производстве и построить экосистему? Может ли оно быть организовано достаточно быстро, чтобы сохранить текущие темпы, и как технология будет интегрироваться в существующие производственные линии? Но все же развитие электроники в этом направлении имеет



очень хорошие перспективы в будущем, и не исключено, что лампы снова станут основными компонентами в каждом электронном приборе.

Как видно у вакуумной электроники ещё есть потенциал для развития. Учёные смогли переосмыслить идеи прошлого и разработать транзистор с наноразмерным вакуумным каналом с использованием только стандартной обработки кремниевых полупроводников. Зазор между коллектором и эмиттером составил 150нм, однако в будущем его можно уменьшить вплоть до 10нм. С точки зрения перспектив дальнейшего усовершенствования электронных ламп идеальным решением было бы создание новых катодов, которые не нуждаются в подогреве для создания эмиссии электронов. Недавние открытия позволяют надеяться на успехи в этом направлении.

4. Заключение

В рамках анализа можно обнаружить, что лампы ещё не полностью вытеснены с мира электроники так, как электронные лампы используют и сегодня в различных сферах. Особенно в тех, где к приборам предъявляются требования повышенной стабильности параметров и надежности. Как видно у вакуумной электроники ещё есть потенциал для развития. В наше время лампы больше всего применяются в областях с высокими требованиями устойчивости к различным внешним воздействиям: там, где полупроводники не прижились или не выдержали нагрузки, за неимением лучшего остались лампы. В то же время, они обладают уникальными свойствами, к которым не могут приблизиться полупроводники, что позволяет им прочно обосновываться в приборах, к которым предъявляют такие высокие требования. Однако, развитие электронно-вакуумной технологии позволит уравнять рентабельность ламп и транзисторов. Уже сейчас успехи в производстве нанорадиодиап, которые просто поражают своими свойствами, заставляют задуматься над переходом всей электроники снова на электронно-вакуумную аппаратуру. Пока лампы распространены только в отдельных отраслях и редко встречаются в бытовых приборах, но если посмотреть на масштабы ассортимента и их популярность в интернет-магазинах, то можно понять, что интересуются ими несколько не меньше, чем полупроводниками, а значит в современной схемотехнике они занимают не последнее место.

Подводя итог, можно сказать, что электронная лампа - это компонент, со своими преимуществами и недостатками (которые со временем благодаря ученым сходят на нет), применять который надо уметь правильно и к месту.

Список литературы

1. Попов В.П., Антонова И.В., Французов А.А., Наумова О.В., Сапожникова Н.В. Кремний-на-изоляторе: материал и приборные структуры // Микросистемная техника. 2001. № 10. С. 35-43.



2. Китаев В.Е. Электротехника с основами промышленной электроники // Высшая школа; Издание 2-е, 1985 г. С. 299 – 304.
3. Zenodon [Электронный ресурс] /. —
лектрон. журн. — Режим доступа: <https://zenodo.org/record/1232105#.YVyYbZpBw2w> , свободный.
4. Rlocman [Электронный ресурс] /. —
лектрон. журн. — Режим доступа: www.rlocman.ru/review/article.html?di=159528 // , свободный.
5. Habr [Электронный ресурс] /. —
лектрон. журн. — Режим доступа: <https://habr.com> , свободный.
6. Elektreek [Электронный ресурс] /. —
лектрон. журн. — Режим доступа: **СОВРЕМЕННЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ ЛАМПЫ** // <https://elektreek.ru>, свободный.
7. Wikipedia [Электронный ресурс] /. —
лектрон. журн. — Режим доступа: **Электронная лампа** — Википедия // <https://wikipedia.org>, свободный.
8. Zen.yandex [Электронный ресурс] /. —
лектрон. журн. — Режим доступа: **Время электронных ламп прошло? Как бы не так | Электропрактика | Яндекс** <https://zen.yandex.ru> , свободный.
9. Intellect [Электронный ресурс] /. —
лектрон. журн. — Режим доступа: **Электронная лампа классификация и назначение Радиолампы и...** // intellect.icu/elektronnaya-lampa-klassifikatsiya-i-naznachenie-538, свободный.
10. Bmstu [Электронный ресурс] /. —
лектрон. журн. — Режим доступа: **ИУ4 Проектирование и технология производства электронной аппаратуры** // bmstu.ru/chair/proektirovanie-i-tehnologia-proizvodstva-elektronnoj-apparatury, свободный.
11. [Электронный ресурс] /. —
лектрон. журн. — Режим доступа: **Публикации по результатам исследований** // <https://iu4.ru/publ/>, свободный.
12. Bigenc [Электронный ресурс] /. —
лектрон. журн. — Режим доступа: **Электронная лампа. Большая российская энциклопедия - электронная версия** // bigenc.ru/technology_and_technique/text/4929443, свободный.
13. Musbench [Электронный ресурс] /. —
лектрон. журн. — Режим работы: **Как работает электронная лампа? История электронных ламп** <https://musbench.com/all/how-vacuum-tubes-work/>, свободный.
14. Electricalschool [Электронный ресурс] /. —
лектрон. журн. — Режим работы: **Электронные лампы - история, принцип действия, конструкция, применение** »
<http://electricalschool.info/spravochnik/poleznoe/2135-elektronnye-lampy-istoriya-princip-deystviya.html>, свободный.
15. Глушко А., Гладких А.А., Семенцов С.Г. Схемотехническое проектирование элементов аналоговых устройств - Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана. Москва, 2017. 72 с.