

И в два и в три...

Проектируя усилитель мощности, следует избегать сильноточных режимов работы генераторных ламп. Чрезмерный катодный ток вызывает интенсивное истощение катодов, поэтому, чтобы получить требуемую выходную мощность, следует увеличивать анодное напряжение. В области умеренного превышения максимального анодного напряжения вакуумной радиолампы появляется возможность обеспечить требуемую выходную мощность усилителя при меньшем анодном токе и тем самым повысить долговечность ныне дорогостоящего прибора — мощной радиолампы. Более того, появляется возможность даже несколько увеличить выходную мощность усилителя, не уменьшая существенно продолжительности её “жизни”.

Такой режим работы усилителя характеризуется более высокой линейностью, а значит, обеспечивает меньший уровень побочных излучений. Правда, это накладывает определенные требования на условия эксплуатации усилителя. Все высоковольтные цепи должны иметь улучшенную изоляцию относительно общего провода и других источников питания (например, накальных и цепей смещения). “Развязывающие” конденсаторы, конденсаторы фильтра питания и выпрямительные диоды должны быть рассчитаны на повышенные напряжения.

Однако, повышение анодного напряжения влечет за собой перемотку силового трансформатора и даже его замену на более мощный, что увеличивает габариты и массу блока питания. Желание иметь несколько режимов работы усилителя потребует наличия отводов у высоковольтной обмотки, что не всегда практично, т.к. отводы снижают надежность высоковольтного трансформатора.

Просмотрев ряд публикаций [1 — 3], я обнаружил “пробел”. Авторы, применяя бестрансформаторные блоки анодного питания ламп, почему-то упорно обходят вниманием схему утроения напряжения, “перескакивая” с удвоителя напряжения на учетверитель и, в лучшем случае, лишь упоминая об утроителе.

Все достоинства и недостатки утроителя необходимо знать, тем более, что получаемые с его помощью напряжения от сети 220 В (напрямую без трансформаторов) находятся в диапазоне наивысшей эффективности работы таких ламп как ГУ-19-1, ГУ-29, 6П45С и т.п.

Пришлось собрать соответствующую схему и исследовать её работу. Оказалось, что она хорошо “сочетается” с удвоителем [1] в части получения напряжения для экранной сетки, а переключатель режимов “удвоение/утроение” позволяет более гибко варьировать режимы работы усилителя мощности (“настройка”, CW, SSB, AM, ЧМ, PSK).

“Классическая” схема удвоителя напряжения приведена на рис.1. В целях повышения безопасности эксплуатации устройства блок анодного и экранного напряжений, а также первичные обмотки трансформаторов питания цепей накала и смещения подключаются к сети 220 В через плавкие предохранители FU1 и FU2. Сдвоенный тумблер SA1 подключает сеть переменного тока к фильтру C1-T1-C2. В простейшем случае трансформатор T1 может быть намотан на ферритовом стержне 400НН — 600НН

диаметром 8 — 10 мм и длиной 180 — 200 мм (от магнитных антенн ДВ-СВ приёмников). Намотка ведётся сетевым шнуром, в один слой, до заполнения.

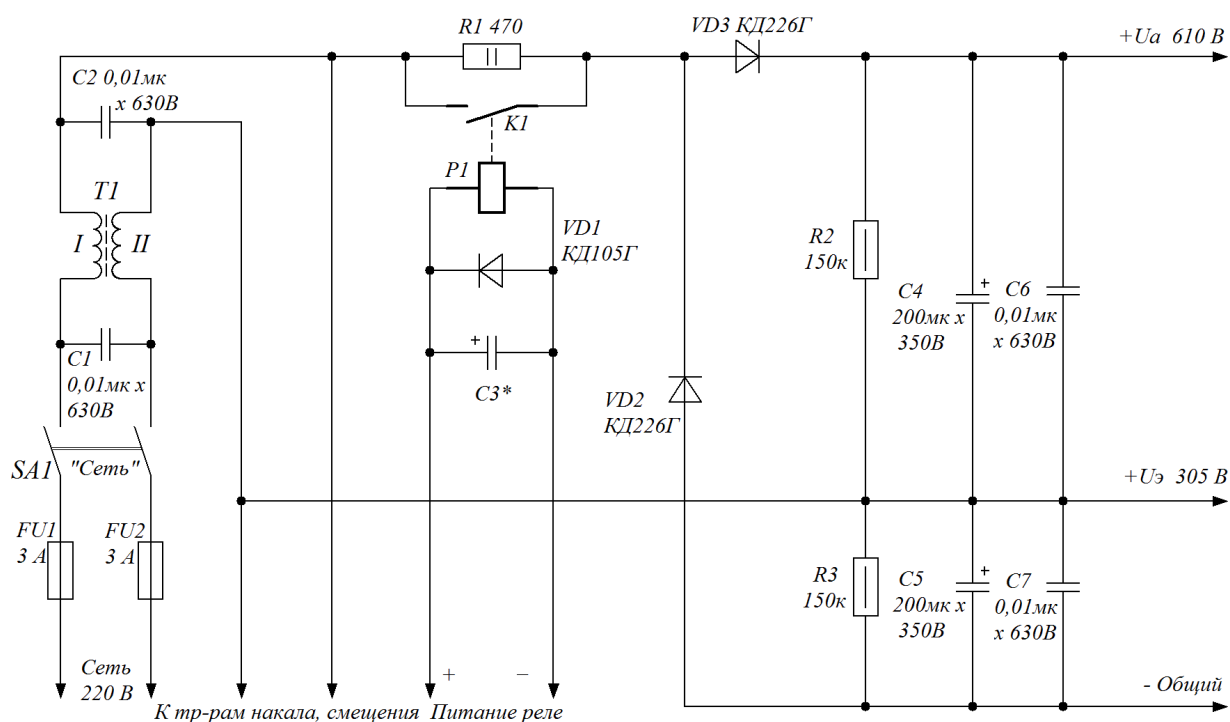


Рис. 1. Удвоитель напряжения сети для анодного питания. Схема принципиальная электрическая

Готовый фильтр желательно экранировать, например, опаяв белой жстью, и разместить его на заземлённом шасси усилителя, но обязательно хорошо изолировав корпус фильтра от обмотки. Кроме цепей питания анода и экранной сетки, после фильтра подключаются “трансформаторные” источники (например, для питания накаливаемых цепей, цепей смещения [1], реле и т.д.). “Стартовый” токоограничительный резистор R1 служит для “медленной” зарядки оксидных конденсаторов C4 и C5. Без него зарядные токи имеют настолько большую величину, что могут расплавить не только предохранители FU1 и FU2, но и подводящие провода, а также пробить диоды умножителя и разрушить оксидные конденсаторы.

Заряд оксидных конденсаторов длится 5 — 10 секунд. По истечении этого времени резистор R1 замыкается накоротко с помощью достаточно мощных контактов реле K1. Резистор R1 может иметь небольшую мощность, т.к. обычно в момент зарядки конденсаторов анодный ток лампы усилителя имеет величину лишь пару десятков миллиампер (ток покоя лампы), а полный ток появляется только после подачи мощности “раскачки”. Контакты реле K1 к этому времени уже “успевают” сработать, так что рабочий ток они призваны лишь проводить, а не переключать. Тем не менее, для надёжности они должны быть рассчитаны на ток не менее 5 А (можно применить реле РЭС-6, РЭС-9, РЭС-22 с параллельно включенными группами контактов).

Диод VD1, подключенный параллельно обмотке реле P1, служит для устранения ЭДС самоиндукции при переключении реле. Подобрать задержку включения реле можно, подобрав ёмкость конденсатора C3. Питание на реле подают от одного из

трансформаторных источников (например, от выпрямителя смещения [1]). Ёмкость конденсатора С3 зависит от сопротивления обмотки реле Р1, требуемого времени задержки срабатывания и “реакции” источника питания реле (времени установления рабочего напряжения после включения). В цепь включения реле можно ввести ключевой биполярный транзистор, установив в цепи его базы времязадающий конденсатор.

Примененное автором в [1] включение анодно-экранного источника при помощи тумблера пригодно лишь для идеальных условий эксплуатации усилителя с данным блоком питания. При исчезновении напряжения в сети и повторном его появлении в лучшем случае сгорят предохранители FU1 и FU2. В варианте с реле после исчезновения напряжения в сети, его якорь “отпустит”, и контакты К1 разомкнутся. После появления сетевого напряжения вновь, заряд оксидных конденсаторов произойдет через резистор R1 по истечении времени задержки.

Когда реле Р1 сработало, обеспечив возможность получения рабочих токов в нагрузке, во время положительной полуволны сетевого напряжения на верхнем (по схеме) проводе, проводит диод VD3 (VD2 заперт), и заряжает конденсаторы С4 и С6. Во время отрицательной полуволны проводит диод VD2 (VD3 заперт), заряжая конденсаторы С5 и С7. Получаемые на конденсаторах напряжения суммируются. Поскольку в схеме удвоителя используются обе полуволны сетевого напряжения, частота пульсаций на выходе удвоителя равна 100 Гц. Резисторы R2 и R3 служат для выравнивания напряжений на конденсаторах и обеспечивают их разряд после выключения питания.

Испытанный удвоитель имел напряжение холостого хода $U_{х*} = 630$ В. При нагрузке, состоящей из 3 соединенных последовательно ламп накаливания 220 В/40 Вт, выходное напряжение снижалось до $U_{нагр} = 610$ В. Напряжение питания экранной сетки, соответственно, было наполовину меньше — +305 В. Его можно подать на стабилизатор [1], транзистор которого должен быть установлен на радиаторе. Удвоитель напряжения [1], как отмечено выше, относится к двухполупериодным схемам, симметрично нагружает сеть и содержит пульсации только с частотой 100 Гц.

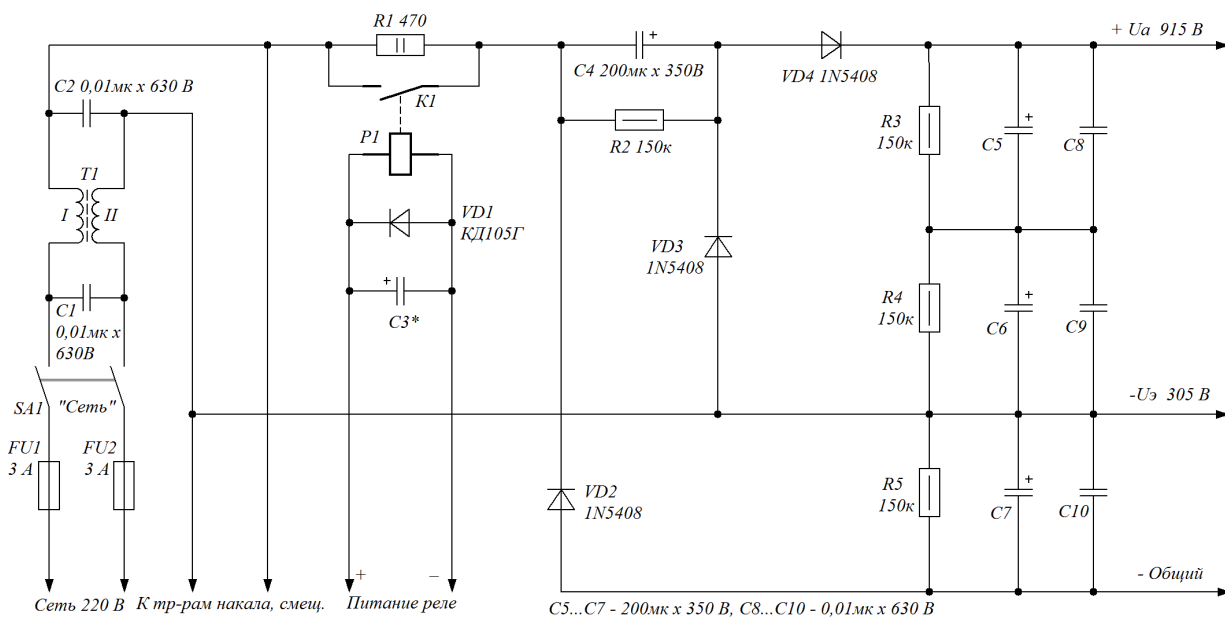


Рис. 2. Утроитель напряжения сети для анодного питания. Схема принципиальная электрическая

Утроитель напряжения (рис.2) имеет “просадку” напряжения значительно больше, чем удвоитель:

$U_{хх} = 1000$ В, $U_{нарп} = 915$ В, но следует учесть, что и нагрузка при эксперименте была большей: уже 5 ламп по 40 Вт, т.е., чуть больше 200 Вт (при недокале их нитей), а в удвоителе — всего 120 Вт.

В обоих экспериментах применялись б/у оксидные конденсаторы ёмкостью 200 мкФ (не исключено, что уже немного “подсохшие”), а напряжение в сети изменялось от 220 до 240 В.

Утроитель напряжения, как и все умножители с нечетным коэффициентом умножения, несимметрично нагружает сеть, что, однако, вполне допустимо. Диоды VD3 и VD4 работают, заряжая конденсаторы C5 и C8 (C6 и C9) в течение двух полупериодов, а во время отрицательного полупериода проводит диод VD2, заряжая конденсаторы C7 и C10. Напряжения на конденсаторах суммируются. На выходе утроителя, как и на выходе всех умножителей с нечетным коэффициентом умножения, присутствуют пульсации выпрямленного напряжения частотой как 100, так и 50 Гц.

Для обеспечения эффективной работы умножителя в каждом из режимов, желательно переключать его вход и выход, не “вторгаясь” в сами схемы умножения, чтобы не снижать надежность устройства. Конечно, весьма заманчиво “оторвать” нижний (по схеме) вывод диода VD3 и соединить его с входом умножителя, т.е., включить диод параллельно конденсатору C4, и больше ничего не трогать. Включенные последовательно оксидные конденсаторы C5 и C6 будут работать неэффективно, увеличивая просадку напряжения под нагрузкой. Кроме того, при ухудшении контактов переключателя будут наблюдаться флуктуации напряжения в такт с приложенной нагрузкой, что создаст трудно устранимый вид помех всему “электрическому окружению”.

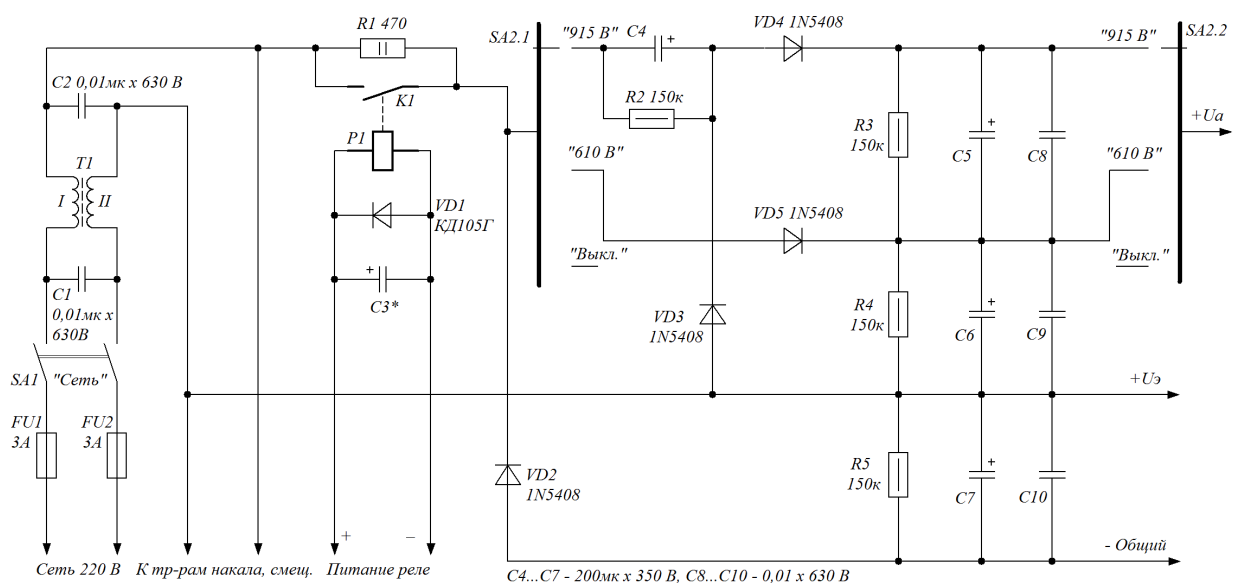


Рис. 3. Удвоитель/утроитель напряжения сети для анодного питания. Схема принципиальная электрическая

На Рис.3 приведена схема, обеспечивающая выход из этого положения. В ней применяется дополнительный диод VD5. Для устранения эффекта “плохих контактов”, результат от которого описан выше, применяется двухплатный (для входа и выхода отдельно) высоковольтный (Ураб не менее 1 кВ) керамический (с мощными контактами) переключатель SA2 типа ЗПЗН, контакты которого для надёжности включены параллельно. Переключение режимов следует производить после отключения сетевого напряжения тумблером SA1. Режим утроения напряжения сети очень полезен для настроенных усилителей, хорошо согласованных с резонансными антеннами. В подобных режимах полезно использовать лампы ГУ-19, ГУ-29, 6П45С и т.п.

В схемах умножения напряжения можно использовать конденсаторы К50-7, К50-12 (например, 150 + 30 мкФ х 350 В от старых телевизоров), К50-17, К50-20, К50-27, К50-31. При желании требуемые ёмкости можно набрать из конденсаторов К78-17, МБГП и т.п. Хотя последние более громоздки, но зато не “высыхают”. “Высыхание” оксидных конденсаторов приводит к снижению их ёмкости и, как следствие, к увеличению “просадки” напряжения под нагрузкой и увеличению пульсаций выпрямленного напряжения.

Кроме рекомендованных в [1], в умножителях напряжения хорошо работают диоды КД226Г, Д203А и их “соплеменники” — КД226Д (1,5 А/800 В), КД210А (10 А/1000 В), а также импортные — 1N5408 и FR307 (3 А/1000 В).

К оксидным конденсаторам предъявляются определенные требования: их рабочее напряжение должно быть не менее 350 В, утечка — минимальной. Желательно применять отечественные оксидные конденсаторы с металлическими корпусами (с креплением “под гайку”), которые, по сравнению с импортными малогабаритными конденсаторами, доступными в настоящее время, имеют повышенную теплоотдачу в окружающую среду. Для тех, кому “по душе” все импортное, или в безвыходной ситуации можно рекомендовать выбирать импортные конденсаторы на максимальное рабочее напряжение (400 — 450 В) группы “LL” — с малой утечкой и рассчитанные на работу при температуре до 105°С.

Перед установкой в схему умножителя конденсаторы следует проверить хотя бы на наличие, указанной на их корпусах, ёмкости и утечку, а при пайке проводов к выводам следует пользоваться теплоотводом. Подбор конденсаторов одинаковой ёмкости желателен, но не обязателен, т.к. выравнивание напряжения на них успешно выполняют подключенные параллельно резисторы. Вторая функция этих резисторов — разряд конденсаторов после отключения умножителя от сети. Тем не менее, все работы в отключенном устройстве следует проводить спустя несколько десятков секунд после выключения питания, обязательно убедившись в отсутствии напряжения на конденсаторах.

Поскольку конденсаторы С5 и С6 (рис.2 и 3) в силу необходимости увеличения их рабочего напряжения включены последовательно, то, для уменьшения “просадки” напряжения на них, их следует выбирать удвоенной ёмкости и, при расчете, считать

одним конденсатором с удвоенным рабочим напряжением. С другой стороны, к конденсатору С7 подключена дополнительная нагрузка — экранная цепь лампы усилителя, что также требует увеличения ёмкости конденсатора С4. Автором данной статьи был выбран компромиссный вариант — ёмкости всех оксидных конденсаторов увеличены до 200 мкФ. Пульсации напряжения для экранной сетки лампы усилителя (50 Гц), как и его “просадка”, значительно уменьшаются благодаря стабилизатору напряжения, предложенному в [1]. Следует отметить, что напряжение смещения для управляющей сетки лампы усилителя различается для режимов удвоения и утроения сетевого напряжения, поэтому следует либо изменять напряжение смещения, либо установить напряжение смещения для режима утроения, а режим удвоения использовать лишь для настройки усилителя.

В [4] можно познакомиться с различными схемами умножителей напряжения — как однополупериодных, так и двухполупериодных (вплоть до “увосьмерителей” включительно). Здесь же приведены особенности их работы и расчёт.

Литература:

1. И. Августовский. Бестрансформаторный РА на ГУ-29. — Радиолобитель. КВ и УКВ, 1997, №3.
2. И. Гончаренко. Легкий и мощный РА. — Радиолобитель. КВ и УКВ, 1999, №№1, 2.
3. И. Гончаренко. Легкий и мощный РА. — Радиолобитель. КВ и УКВ, 2000, №3.
4. Jack Althouse. Voltage Multipliers. — QST, October 1971.

Виктор Беседин (UA9LAQ)

г. Тюмень