

Газовые стабилизаторы напряжения

М. Эфрусси

Стабилизация напряжений питания приемных и передающих радиоустройств является одним из важнейших факторов повышения их качественных показателей. Она имеет решающее значение для обеспечения устойчивого и неискаженного радиоприема, стабильности несущей частоты радиопередатчика, точности показаний измерительных приборов и т. д.

Одним из самых простых и общедоступных стабилизаторов, обеспечивающих постоянство анодных и экранных напряжений, является газовый, который в силу этого получил значительное распространение.

* *
*

Газовый стабилизатор представляет собой стеклянный баллон (рис. 1), наполненный каким-либо инертным газом (аргоном, неоном, гелием) при давлении в несколько сантиметров ртутного столба, в котором помещены два концентрически расположенных железных или никелевых электрода, выполненных в виде стаканчиков или цилиндров. Поверхность электродов активирована, т. е. покрыта тонким слоем окисла щелочно-земельного металла (бария, тория, цезия). Стабилизаторы, которые одновременно могут использоваться как делители напряжения, имеют большее число таких электродов (3 ÷ 5); разрез подобного стабилизатора показан в заголовке статьи.

Наружный электрод стабилизатора, имеющий наибольшую площадь, является катодом. Между подлежащим стабилизации источником электрического напряжения и газовым стабилизатором всегда включается сопротивление (R_d) на

рис. 2), называемое балластным или добавочным.

Это сопротивление предохраняет стабилизатор от образования дуги между электродами (пробоя) и определяет стабилизирующие свойства схемы. Если подать на стабилизатор выпрямленное напряжение, больше напряжения зажигания, то между электродами стабилизатора возникнет тлеющий газовый разряд.

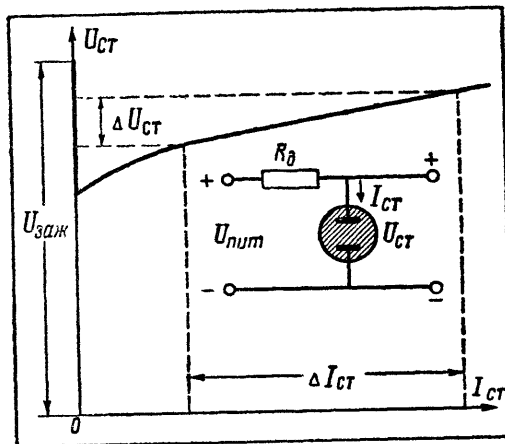
Зажегшийся стабилизатор находится в режиме так называемого нормального катодного падения, при котором поверхность светящейся части катода пропорциональна току, протекающему через стабилизатор, т. е. плотность тока получается постоянной.

При этом напряжение на стабилизаторе также остается почти постоянным, не зависящим в некоторых пределах от колебаний питающего напряжения. Величина стабилизованного напряжения (рабочего напряжения стабилизатора) определяется родом газа и активирующего электрода окисла.

Физическая картина процесса, происходящего в газовом стабилизаторе, такова: при подаче на электроды газового стабилизатора достаточного напряжения возникает ионизация заполняющего его газа — тлеющий разряд, наблюдаемый как свечение частиц газа между электродами. Ионизация вызы-

вается электронами, летящими от катода к аноду, и приводит к образованию больших количеств новых электронов и ионов. Ионы (положительные частицы газа) движутся к катоду и выбивают из него новые электроны, которые своим движением к аноду поддерживают ионизацию и разряд. Основная область ионизации находится вблизи катода, так как здесь наиболее благоприятные для этого условия. Увеличение напряжения на стабилизаторе сопровождается расширением свечения на поверхности катода.

Рис. 2. Вольтамперная характеристика стабилизатора и схема ее измерения



На практике было установлено, что, когда газ светится не на всей поверхности катода, ток через стабилизатор пропорционален площади светящейся поверхности, а плотность тока и величина падения напряжения на стабилизаторе остаются постоянными.

ВОЛЬТАМПЕРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СТАБИЛИЗАТОРА

Указанное свойство газового стабилизатора иллюстрируется его **вольтамперной** характеристикой (рис. 2), показывающей, как изменяются ток через стабилизатор и напряжение на нем. Она показывает также, что зажигание газового стабилизатора (участок характеристики при $I_{cm} = 0$) происходит при напряжении, несколько большем рабочего.

Вольтамперная характеристика газового стабилизатора позволяет определить внутреннее сопротивление стабилизатора для приращений (колебаний) напряжения на нем.

Внутреннее сопротивление стабилизатора $r_{i cm}$ иногда в литературе называют сопротивлением стабилизатора переменному току (по аналогии с внутренним сопротивлением электронной лампы); численно это сопротивление представляет собой отношение приращения напряжения на электродах стабилизатора к приращению тока через него

$$r_{i cm} = \frac{\Delta U_{cm}}{\Delta I_{cm}}. \quad (1)$$

Это сопротивление является величиной постоянной для рабочего (прямолинейного) участка вольтамперной характеристики стабилизатора.

Определяемое таким образом внутреннее сопротивление стабилизатора значительно отличается от так называемого сопротивления постоянному току, которое вычисляется по закону Ома делением величины напряжения на электродах стабилизатора на протекающий через него ток.

Сопротивление постоянному току зависит от величины тока через стабилизатор и не является постоянной величиной; его значение много больше внутреннего сопротивления $r_{i cm}$.

При отсутствии вольтамперной характеристики внутреннего сопротивления стабилизатора можно определить, если известно изменение напряжения на нем ΔU_{cm} при изменении тока через стабилизатор от минимального $I_{cm \text{ мин}}$, при котором существует тлеющий разряд (свечение), до максимального $I_{cm \text{ макс}}$, допускаемого размерами катода.

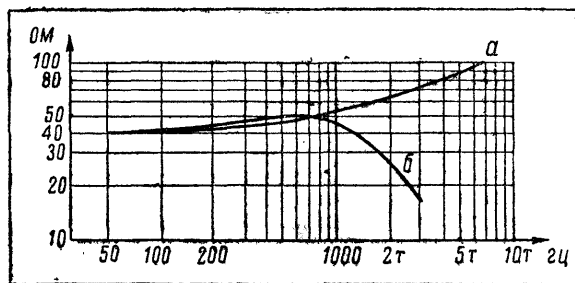


Рис. 3. Типичная зависимость внутреннего сопротивления стабилизатора от частоты.

Кривая *а* — для стабилизатора, не шунтированного конденсатором, *б* — для стабилизатора, шунтированного конденсатором емкостью в 3 мкф

Для большинства стабилизаторов величина $r_{i cm}$ колеблется в пределах от 50 до 300 Ом.

Название „внутреннее сопротивление“ определяется тем, что по отношению к потребителю стабилизированного напряжения (по отношению к нагрузке,

присоединенной параллельно стабилизатору), величина $r_{i cm}$ представляет собой как бы внутреннее сопротивление источника питания.

На рис. 3 показана типичная зависимость внутреннего сопротивления одного из стабилизаторов от частоты; из этого рисунка видно, что при частоте около 4 000 гц внутреннее сопротивление вдвое больше, чем при частоте 50 гц. Такая зависимость внутреннего сопротивления стабилизатора от частоты означает, что оно является комплексным сопротивлением, т. е. содержит реактивную составляющую индуктивного характера. Через всякий источник питания, в данном случае через стабилизатор, проходит постоянный и колебательный ток питаемого устройства низкой или высокой частоты (например, переменная составляющая анодного тока усилительных ступеней). Поэтому падение напряжения на внутреннем сопротивлении стабилизатора, как бы оно мало ни было, и будет возрастать с частотой.

Для уменьшения $r_{i cm}$ (как внутреннего сопротивления источника) в области звуковых и высоких частот рекомендуется шунтировать стабилизатор конденсатором в 2—4 мкф. Кривая *а* на рис. 3 показывает зависимость от частоты внутреннего сопротивления не шунтированного конденсатором стабилизатора, а кривая *б* — при шунтировании его конденсатором емкостью в 3 мкф.

Низкое внутреннее сопротивление стабилизатора переменному току, в соответствии с вышеуказанным, обеспечивает улучшение фильтрации выпрямителя, а также уменьшает нежелательные связи через него, приводящие часто к генерации (релаксации).

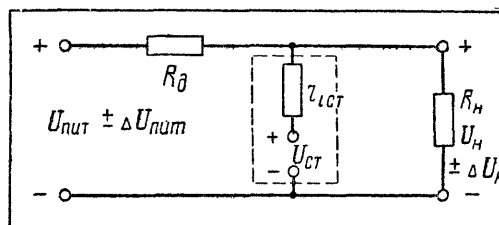


Рис. 4. Эквивалентная схема стабилизирующей ячейки

Это обстоятельство легко пояснить следующим примером: применение стабилизатора СГ-226, имеющего внутреннее сопротивление около 240 Ом для частоты 50 гц, эквивалентно шунтированию нагрузки конденсатором емкостью 13 мкф.

РАСЧЕТ СТАБИЛИЗАТОРА

Для того чтобы облегчить расчет схемы с газовым стабилизатором, целесообразно составить эквивалентную схему стабилизирующей ячейки (рис. 4).

На этой схеме стабилизатор представлен как источник кажущейся противодействующей U_{cm} с внутренним сопротивлением $r_{i cm}$.

Из эквивалентной схемы видно, что добавочное сопротивление R_0 и внутреннее сопротивление стабилизатора $r_{i cm}$ образуют по отношению к изменяющемуся напряжению $U_{пит}$ делитель (величиной шунтирующего сопротивления $R_н$ можно пренебречь ввиду того, что $r_{i cm} \ll R_н$, т. е. внутреннее сопротивление стабилизатора много меньше сопротивления нагрузки).

Это позволяет нам определить изменение стабилизированного напряжения на нагрузке $\Delta U_n = \Delta U_{cm}$ при изменении питающего напряжения $\Delta U_{пит}$.

Приращение напряжения на стабилизаторе будет составлять часть приращения питающего напряжения, определяемую соотношением „плеч“ делителя (потенциометра)

$$\Delta U_{cm} = \Delta U_{пит} \frac{r_{i cm}}{R_{\partial} + r_{i cm}} \approx \Delta U_{пит} \frac{r_{i cm}}{R_{\partial}} \quad (3)$$

(пренебрегаем в знаменателе $r_{i cm}$, когда R_{∂} значительно больше его).

Формула (3) показывает, что изменение напряжения после стабилизатора в $\frac{r_{i cm}}{R_{\partial}}$ раз меньше изменения питающего напряжения.

Изменение стабилизированного напряжения в процентах представит собой умноженное на 100 отношение приращения этого напряжения ΔU_{cm} ко всему стабилизированному напряжению:

$$\Delta U_{cm} \% = \frac{\Delta U_{cm}}{U_{cm}} \cdot 100. \quad (4)$$

Для практических расчетов удобнее выразить процент колебаний стабилизированного напряжения $\Delta U_{cm} \%$ в зависимости от процентуальной нестабильности питающего напряжения $\Delta U_{пит} \%$. Этот процент может быть рассчитан по формуле, которая выводится из выражения (3)

$$\Delta U_{cm} \% = \Delta U_{пит} \% \frac{r_{i cm}}{R_{\partial}} \cdot \frac{U_{пит}}{U_{cm}}. \quad (5)$$

Из эквивалентной схемы следует, что чем больше R_{∂} , тем большей величины нужно иметь питающее

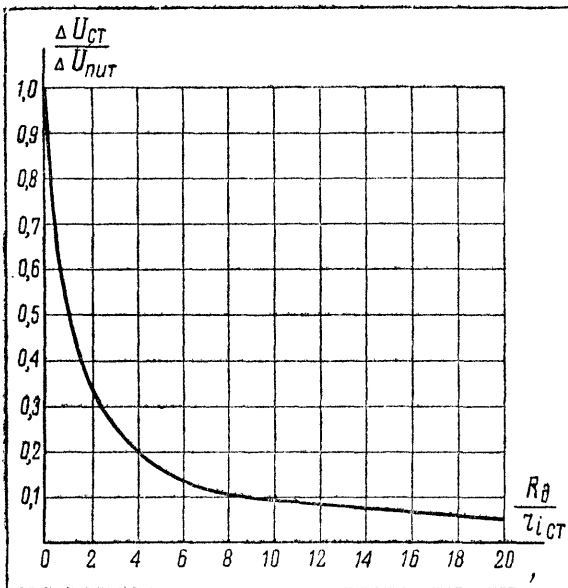


Рис. 5. Кривая, показывающая влияние отношения добавочного сопротивления стабилизатора к его внутреннему сопротивлению $\frac{R_{\partial}}{r_{i cm}}$ на отношение колебания стабилизированного напряжения к изменению питающего $\left(\frac{\Delta U_{cm}}{\Delta U_{пит}}\right)$

напряжение $U_{пит}$. Однако большое $U_{пит}$ не всегда удобно и, кроме того, энергетически невыгодно,

т. к. при этом большая часть питающего напряжения теряется в добавочном сопротивлении и тем самым удорожается стоимость стабилизации.

Для решения вопроса о правильной величине добавочного сопротивления в связи с его влиянием на стабилизацию по точной формуле (3) была построена графическая зависимость, связывающая величины стабилизации и добавочного сопротивления. Эта зависимость, изображенная на

рис. 5, показывает, что увеличение отношения $\frac{R_{\partial}}{r_{i cm}}$ больше 10 — 12, не имеет смысла, т. к. при дальнейшем его увеличении отношение $\frac{\Delta U_{cm}}{\Delta U_{пит}}$, определяющее коэффициент стабилизации, уменьшается очень медленно и выигрыш в коэффициенте стабилизации не окупается повышением напряжения питания.

Однако увеличение добавочного сопротивления несколько увеличивает диапазон стабилизации. Ввиду того, что работа стабилизатора ограничена минимальным и максимальным током через него, диапазон колебаний питающего напряжения, в котором сохраняются стабилизирующие свойства схемы, определяется как произведение максимального изменения тока через стабилизатор (диапазона изменения тока) на добавочное сопротивление (внутренним сопротивлением стабилизатора мы здесь также пренебрегаем ввиду его незначительной величины по сравнению с добавочным сопротивлением), т. е.

$$\Delta U_{пит} = (I_{cm \text{ макс}} - I_{cm \text{ мин}}) R_{\partial} \quad (6)$$

или, переводя в проценты к питающему напряжению,

$$L \% = \frac{100 (I_{cm \text{ макс}} - I_{cm \text{ мин}}) R_{\partial}}{U_{пит}}. \quad (6')$$

Расчет регулируемого диапазона колебаний питающего напряжения, сделанный по этой формуле, показывает, что полностью нагруженный стабилизатор (т. е. имеющий нагрузку, которая потребляет максимально допустимый стабилизатором ток), питаемый напряжением, в 1,5 раза большим стабилизированного, т. е. когда $\frac{R_{\partial}}{r_{i cm}} \approx 10$, способен „сдерживать“ 18-процентные колебания питающего напряжения, т. е. колебания на $\pm 9\%$. Стабилизатор, питаемый напряжением вдвое большим стабилизированного (при $\frac{R_{\partial}}{r_{i cm}} \approx 20$), способен стабилизировать колебания питающего напряжения на 27%. Если нагрузка стабилизатора потребляет половину максимально допустимого им тока, пределы стабилизации увеличиваются до 24% для первого случая и до 40% для второго.

Величина питающего напряжения согласно схеме рис. 4, на которой стабилизатор и добавочное сопротивление соединены последовательно, должна быть равна сумме стабилизированного напряжения на нагрузке U_{cm} и падения напряжения на дополнительном сопротивлении, создаваемого током нагрузки I_n плюс ток через стабилизатор I_{cm} , т. е.

$$U_{пит} = U_{cm} + (I_n + I_{cm}) R_{\partial}. \quad (7)$$

При расчете, полагая, что питающее напряжение изменяется одинаково в обе стороны, следует принять среднее значение тока через стабилизатор равным полусумме максимального и минимального токов.

$$I_{cm \text{ ср}} = \frac{I_{cm \text{ мин}} + I_{cm \text{ макс}}}{2}. \quad (8)$$

Из сказанного следует, что значения питающего напряжения U_{num} и добавочного сопротивления R_{∂} могут на практике довольно значительно отличаться от расчетных величин, оказывая влияние только на стабилизируемые (сдерживаемые) пределы колебаний питающего напряжения.

Когда заранее известно напряжение, подлежащее стабилизации, расчет стабилизатора должен производиться в обратном порядке.

Исходя из напряжения питания, сначала определяют величину добавочного сопротивления, равную

$$R_{\partial} = \frac{U_{num} - U_{cm}}{I_n + I_{cm\text{ ср}}}, \quad (9)$$

а затем и остальные величины.

За величину U_{num} следует принимать напряжение на выходе фильтра выпрямителя, если газовый стабилизатор используется для поддержания постоянства напряжения одной или нескольких ступеней (цепей) радиоприбора, в то время как остальные ступени питаются от того же выпрямителя нестабилизированным напряжением.

Если же через добавочное сопротивление стабилизатора идет весь ток, отдаваемый выпрямителем, то за величину U_{num} принимают напряжение на входе фильтра выпрямителя и применяют сопротивление R_{∂} величиной меньше расчетной на величину сопротивления дросселя фильтра.

В случае стабилизатора-делителя, имеющего несколько газовых промежутков, или нескольких последовательно соединенных стабилизаторов, некоторые из которых несут переменную нагрузку, важно знать, как влияют изменения тока нагрузки отдельных промежутков на величину полного стабилизированного напряжения.

Изменение стабилизированного напряжения газового промежутка при изменении тока нагрузки этого промежутка на ΔI_n приблизительно равно произведению величины этого приращения тока на внутреннее сопротивление секции стабилизатора $r_{i\text{ см}}$, являющийся как бы внутренним сопротивлением источника питания

$$\Delta U'_{cm} \leq \Delta I_n r'_{i\text{ см}} \quad (10)$$

Если несколько газовых промежутков несут изменяющуюся нагрузку, то влияние колебаний напряжений отдельных секций на полное стабилизированное напряжение по аналогии с рассуждениями при выводе формулы (3) будет равно

$$\Delta U_{cm} \approx (\Delta U'_{cm} + \Delta U''_{cm} + \dots) \frac{r_{i\text{ см}}}{R_{\partial}}, \quad (11)$$

т. е. приращение напряжения на отдельных промежутках распределяется между добавочным сопротивлением и внутренним сопротивлением всего стабилизатора.

ПРИМЕР РАСЧЕТА

Произведем для примера расчет стабилизирующей ячейки с лампой типа СГ-226, для которой полное рабочее напряжение (между крайними электродами) $U_{cm} = 280$ в, число газовых промежутков 4; напряжение на каждом промежутке $U_{cm} \approx 70$ в; напряжение зажигания промежутка $U'_{заж} = 95$ в; максимальный ток стабилизатора $I_{cm\text{ макс}} = 40$ ма; минимальный ток стабилизатора $I_{cm\text{ мин}} = 8$ ма; изменение напряжения при изменении тока от минимальной до максимальной величины $\Delta U_{cm} = 8$ в.

Внутреннее сопротивление стабилизатора будет согласно формуле (2)

$$r_{i\text{ см}} = \frac{8}{0,04 - 0,008} = 250 \text{ ом.}$$

Принимаем добавочное сопротивление

$$R_{\partial} = 10 r_{i\text{ см}} = 10 \cdot 250 = 2500 \text{ ом.}$$

Таким образом,

$$\frac{R_{\partial}}{r_{i\text{ см}}} = 10.$$

Питающее напряжение при токе нагрузки в 35 ма должно быть согласно (7)

$$U_{num} = 280 + 2500 \left(0,035 + \frac{0,04 + 0,008}{2} \right) = 427 \text{ в.}$$

Изменение стабилизированного напряжения при изменении питающего напряжения на 10% ($\Delta U_{num} = 42,7$ в) согласно (3),

$$\Delta U_{cm} = 42,7 \frac{250}{2500} = 4,27 \text{ в.}$$

Изменение стабилизированного напряжения в процентах согласно (4),

$$\Delta U_{cm} \% = \frac{4,27 \cdot 100}{280} \approx 1,5\%.$$

Таким образом, стабильность питающего напряжения повышается в

$$\frac{\Delta U_{num}}{\Delta U_{cm}} = \frac{10}{1,5} = 6,6 \text{ раза.}$$

Отношение величин питающего напряжения к стабилизированному

$$\frac{U_{num}}{U_{cm}} = 1,52.$$

Это отношение в большинстве случаев берется равным $1,5 \div 2$.

Если ток одной из нагрузок изменится на 30 ма, то напряжение на секции будет изменяться на $\Delta U_{cm} = 1,86$ в, а полное стабилизированное напряжение на $\Delta U_{cm} = \frac{1,86 \cdot 250}{2500} = 0,186$ в, что составляет около 0,07%.

НЕКОТОРЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Газовые стабилизаторы даже одного типа нельзя соединять параллельно с целью увеличения стабилизированного тока, т. к. в соединяемых параллельно стабилизаторах невозможно обеспечить одинаковый режим тлеющего разряда. Исключение составляют стабилизаторы, имеющие дополнительный зажигающий электрод (третий электрод).

Однако однотипные по току стабилизаторы можно соединять последовательно для повышения стабилизированного напряжения или образования делителя. Например, соединив последовательно стабилизаторы СГ2С (75С5-30) и СГ4С (150С5-30) можно получить стабилизированные напряжения в 225 и 150 в или 225 и 75 в, в зависимости от порядка их включения.

Если стабилизируется питание устройства, работающего в импульсном режиме, то нагрузку стабилизатора необходимо исчислять по максимальному, а не по среднему значению тока в импульсе. Если этот импульс высокочастотный, расчет ведут для его постоянной составляющей, т. к. высокочастотная составляющая будет проходить через конденсатор, включенный параллельно стабилизатору.

Стабилизатор допускает 30-процентную кратковременную перегрузку током против номинала. В стабилизаторе-делителе допустимая нагрузка отдельных электродов различна вследствие того, что их размеры не одинаковы: так, например, элек-

троды стабилизатора СГ-226 допускают следующую нагрузку током, считая от наружного электрода: 80 ма, 60 ма, 40 ма и 15 ма.

Для того чтобы стабилизатор зажегся в момент включения питания, напряжение на нем должно быть на 15—30 в выше номинального (рабочего). Для стабилизатора-делителя или двух последовательно соединенных стабилизаторов напряжение зажигания должно быть больше рабочего напряжения на величину превышения зажигающим напряжением рабочего (номинального) только одного газового промежутка (стабилизатора), а не всех имеющихся промежутков, т. е. $U_{заж} = U_{ст} + \pm(U'_{заж} - U'_{ст})$.

Наиболее трудно обеспечить зажигание стабилизатора, если в момент подачи на него питающего напряжения присоединенная к нему нагрузка будет потреблять максимално допустимый ток. В этих условиях нагрузка препятствует повышению напряжения на стабилизаторе в первый момент после включения.

В случае стабилизатора-делителя или нескольких последовательно соединенных стабилизаторов для обеспечения условий зажигания каждый из элек-

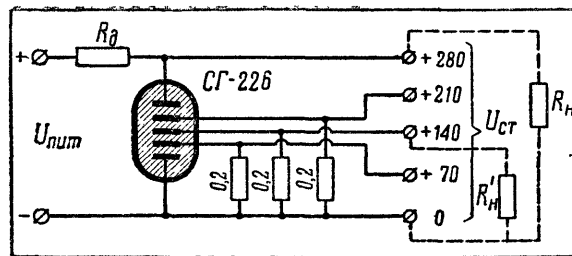


Рис. 6. Типичная схема включения стабилизатора-делителя

тродов (кроме соединенных с питающим напряжением) рекомендуется присоединять к минусу или плюсу питающего напряжения через сопротивление 0,2—0,3 мгом мощностью 1,4 вт, как показано, например, на рис. 6. Применение этих сопротивлений обеспечивает подачу каждому промежутку в первый момент полного напряжения питания.

Газовые стабилизаторы с успехом можно использовать также для стабилизации и сглаживания пульсаций напряжения сети постоянного тока.

ГЕНЕРАТОР НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ ЗГ-2А

(Окончание. Начало см. на стр. 51)

Лампа 100 служит для компенсации отклонения гальванометра, получающегося за счет начального тока лампы 99.

Если переключатель 79 установлен в положение «МВ», т. е. напряжение звуковой частоты подводится к зажиму 122 с выхода делителя, то отсчет величины выходного напряжения производится по номинальным значениям шкалы прибора в милливольтгах, соответствующим положению переключателя 10.

Выпрямитель прибора собран по двухполупериодной схеме на лампе 108 типа 5ЦЗС (5У4Г). Напряжение на анод кенотрона подается от трансформатора 111. Трансформатор 116 питает накал всех ламп.

Все детали звукового генератора смонтированы на вертикальной алюминиевой панели и скрепленных с ней трех горизонтальных панелях (рис. 5).

РАБОТА С ПРИБОРОМ

После включения прибора в сеть для правильного отсчета частоты звукового напряжения необходимо произвести установку «нуля частоты».

С этой целью ручки «частота» и «растрейка» устанавливаются на нуль. Затем медленно вращают ручку «установка нуля» до тех пор, пока стрелка вольтметра после ряда быстрых, а затем медленных колебаний не станет на нуль.

Установку нуля можно производить и по нулевым бинам в телефонах, включенных на выходе прибора.

Отсчет частоты звуковых колебаний производится по основной шкале прибора.

Изменение частоты до 100 гц в любой точке диапазона производится с помощью ручки «растрейка»; плавная регулировка величины выходного напряжения осуществляется ручкой «регулировка выхода». Изменение выходного напряжения ступенями в пределах 20, 60 и 200 в получается при помощи переключателя выхода 79.

Если переключатель 79 установлен в положение «МВ», то дальнейшее изменение выходного напряжения ступенями производится переключателем 10.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕНЕРАТОРА

Диапазон перекрываемых частот — 20 ÷ 20 000 гц.

Стабильность частоты. После 20-минутного предварительного прогрева уход частоты не превышает ±10 гц в течение первого часа работы и ±3 гц в течение каждого последующего часа работы. Указанные нормы стабильности даны для температуры окружающего воздуха +20° Ц, при изменении питающего напряжения не более 1 м на ±1%. Изменение питающего напряжения на ±10% вызывает изменение частоты не более чем на ±15 гц.

Максимальное напряжение на выходе без нагрузки — 150 в. Максимальная выходная мощность при оптимальных нагрузках 50, 500 и 5 000 ом около 2 вт. Эта мощность может быть снята при положении переключателя выхода «20», «60» и «200» в. Напряжение на выходе может изменяться как плавно с помощью потенциометра в пределах от 15 до 100% максимального выходного напряжения, так и ступенями, с помощью переключателей. Схема регулировки выходного напряжения обеспечивает понижение его от максимального значения до единиц милливольт.

Коэффициент гармоник выходного напряжения, при отбираемой от генератора мощности до 1,5 вт, не превышает 1% на частотах 400—3 000 гц и 2% на частотах 100—400 и 3 000—5 000 гц.

Частотная характеристика. Выходное напряжение в диапазоне частот от 50 до 16 000 гц изменяется не более чем на 10% относительно напряжения на частоте 1 000 гц (при оптимальной нагрузке 50, 500 и 5 000 ом).

Питание прибора осуществляется от сети переменного тока с напряжением 110, 127 и 220 в. Потребляемая мощность составляет около 130 в.