

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



Ц 76

Ф-433

3/10-78

13 - 11176

Ф.Ференци

1561/2-78

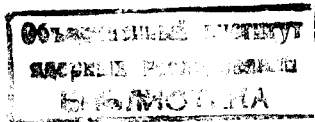
ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ БЛОК ПИТАНИЯ

1978

13 - 11176

Ф.Ференци

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ БЛОК ПИТАНИЯ



Ференци Ф.

13 - 11176

Высоковольтный блок питания

Показано, что последовательный колебательный контур может быть применен в блоке высокого напряжения с автоколебательным питанием. В этом блоке широко используются диоды, транзисторы, операционные усилители, а также емкости. Описаны принцип работы и схема высоковольтного блока питания. На выходе напряжение равно 5 кВ, ток - 0,25 мА, стабилизация напряжения - не хуже 10^{-3} .

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

Ferenczy F.

13 - 11176

High Voltage Supply Unit

It is shown that the sequential oscillatory circuit can be employed in a high voltage unit with an auto-oscillating power supply. Diodes, transistors, amplifiers, and condensators are here widely used. The operation principle and high voltage supply unit scheme are described. The output voltage is 5 kV, current is 0.25 mA, voltage stabilization is not worse than 10^{-3} .

The investigation has been performed at the Neutron Physics Laboratory, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1978

Для детекторов, регистрирующих ядерные излучения, разрабатываются малогабаритные высоковольтные блоки питания.

Использование наиболее широко распространенных схем с автоколебательными преобразователями не всегда является целесообразным. При получении высоких напряжений недостатком таких схем является большое число витков во вторичной катушке, так как максимальное напряжение на первичной катушке не может превышать напряжения питания генератора. Как известно, в случае резонанса в последовательном колебательном контуре напряжение на катушке или на емкости будет в Q раз превышать напряжение генератора U_0 . Ниже следует описание принципа работы и схемы высокостабильного высоковольтного блока питания с применением последовательного колебательного контура /выходное напряжение - 4 кВ, ток - 0,25 мА, стабилизация напряжения не хуже 10^{-3} /. Основными элементами блока являются схемы стабилизации напряжения и преобразователь напряжения.

БЛОК СТАБИЛИЗАЦИИ

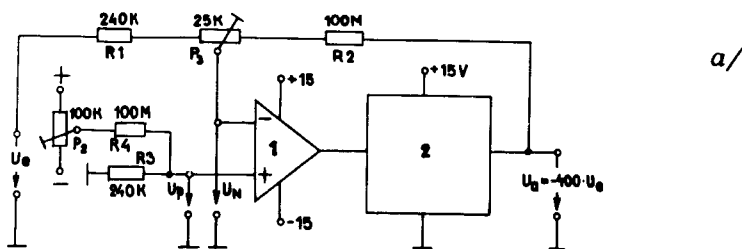
Схема стабилизации высокого напряжения выполнена на операционном усилителе типа $\mu A 101$, который регулирует величину напряжения, питающего преобразователь, в соответствии с изменениями выходного напряжения. В случае, если выходное напряжение постоянно, напряжения между двумя входами операционного усилителя будут равными: $U_N = U_P$.

Зависимость входных и выходных напряжений в случае отрицательного и положительного выходного напряжения /см. рис. 1а,б: 1 - операционный усилитель, 2 - преобразователь напряжения/ дается формулами:

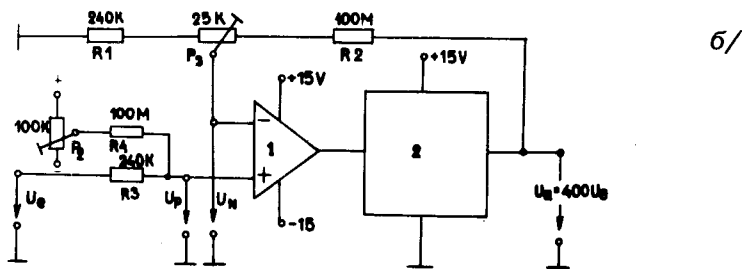
$$\frac{U_e}{R_1} = -\frac{U_a}{R_2}, \quad \frac{U_e}{R_1} = \frac{U_a}{R_1+R_2},$$

$$U_a = -\frac{R_2}{R_1} U_e, \quad U_a = \frac{R_1+R_2}{R_1} U_e.$$

Для достижения минимального тока отсечки должно выполняться условие $R_3 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$. Уравнение



а/



б/

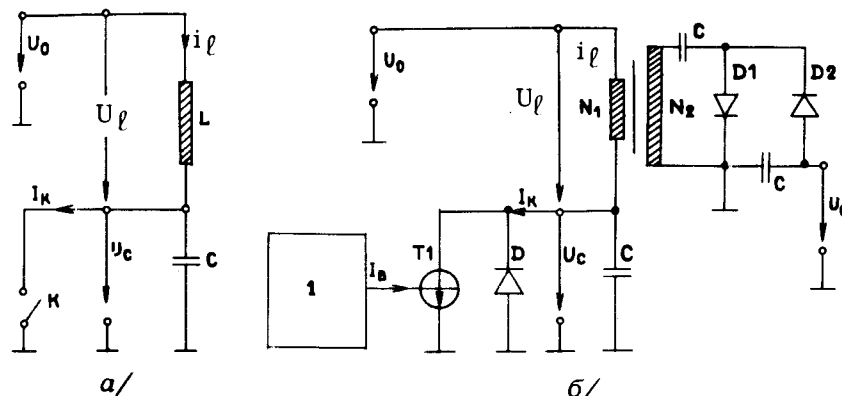
Рис. 1

тока отсечки операционного усилителя производим потенциометром P_2 и сопротивлением R_4 .

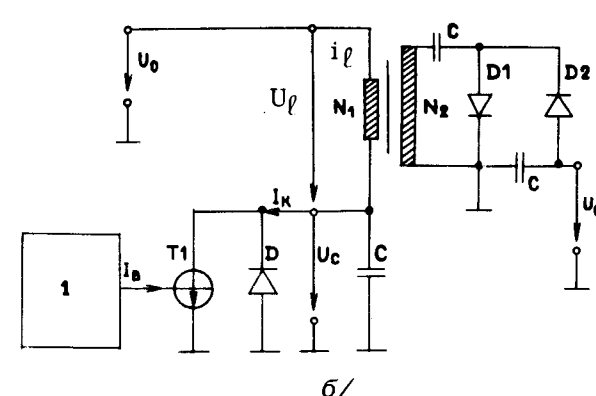
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НАПЯЖЕНИЯ

Преобразователь напряжения собран по схеме, представленной на рис. 2, принцип его работы объяснен на рис. 3. Если ключ К замкнут /период времени $0-t_1$ /, то при постоянном U_0 ток катушки (i_ℓ) линейно возрастает по закону

$$i_\ell = \frac{U_0}{L} \cdot t.$$



а/



б/

Рис. 2

Максимальный ток возникает в момент $t = t_1$ и равен

$$\hat{i}_\ell = \frac{U_0}{L} t_1.$$

В момент $t = t_1$ ключ К отключается, ток i_ℓ течет через емкость С и мы получаем последовательный LC колебательный контур с резонансной

частотой $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$. Так как период времени $T=2\tau$,

$$\text{то } \omega_0 = \frac{2\pi}{T} = \frac{\pi}{\tau}.$$

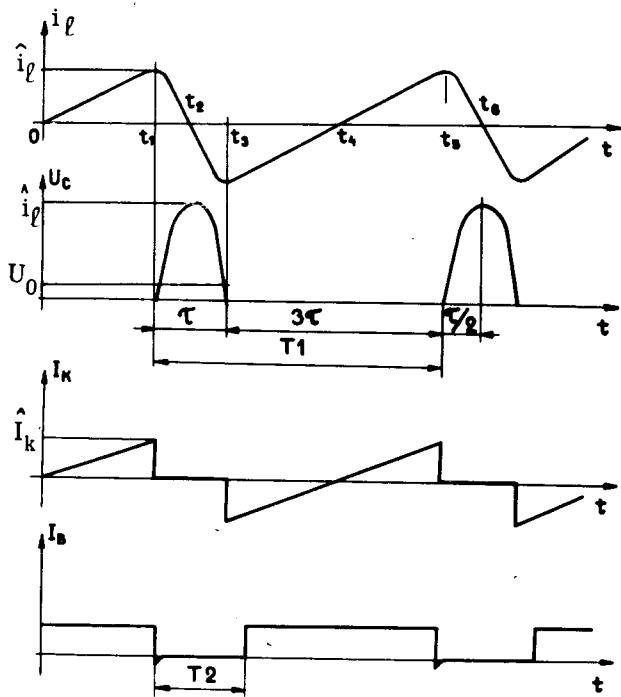


Рис. 3

Изменение тока, текущего через L , описывается следующей зависимостью:

$$i_l = \hat{i}_l \cdot \cos \omega_0 (t - t_1) = \frac{U_0}{L} t_1 \cdot \cos \frac{\pi(t - t_1)}{\tau}.$$

Напряжение на катушке $U_l = L \frac{di}{dt} = -U_0 \cdot t_1 \frac{\pi}{\tau} \sin \frac{\pi(t - t_1)}{\tau}.$

Максимальная амплитуда напряжения появляется в момент $t = t_2$ и равна

$$\hat{U}_l = -U_0 \cdot t_1 \cdot \frac{\pi}{\tau}.$$

А напряжение на емкости будет составлять:

$$\hat{U}_C = U_0 (1 + t_1 \frac{\pi}{\tau}).$$

В момент $t = t_3$ энергия опять переходит в катушку, ключ K включается и через него течет отрицательный ток - \hat{i}_l . Изменение тока описывается следующей зависимостью:

$$i_l = -\frac{U_0}{L} \cdot t_1 + \frac{U_0}{L} (t - t_3).$$

В момент $t = t_5$ ток i_l опять достигает положительного максимума, и процесс повторяется по вышеописанному принципу. В идеальном случае энергия, введенная в контур за период $(0 - t_1)$, возвращается за промежуток времени $(t_3 - t_4)$.

Замыкание цепи на период времени $(0 - t_1)$ производит ключ K /транзистор T_1 /, а на время $(t_3 - t_4)$ - диод D ,

$\frac{\hat{U}_C}{U_0}$ зависит лишь от отношения $\frac{t_1}{\tau}$. Максимальное

напряжение на емкости определяется допустимым наибольшим U_{CE} -напряжением между коллектором и эмиттером транзистора. Для транзистора 2Н3055, принимая максимальное значение управляющего напряжения U_0 равным 15 В, получим

$$\frac{t_1}{\tau} < \frac{1}{\pi} \left(\frac{\hat{U}_C}{U_0} - 1 \right) = \frac{5}{\pi} \sim 1,5.$$

$t_5 - t_3 = 2t_1 = 3\tau$, а период $T_1 = 2t_1 + \tau = 4\tau$. В оптимальном случае частота f_1 равна 28 кГц.

$$\tau = \frac{T_1}{4} = \frac{1}{4f_1} = 9 \text{ мкс.}$$

Индуктивность L определяется по следующей формуле:

$$L \approx 0,125 \frac{(t_5 - t_3) U_0^2}{P_2},$$

P_5 - максимальная мощность генератора,

$$P_5 = U_a \cdot I_{\max} = 4 \text{ кВ} \cdot 0,25 \text{ мА} = 1 \text{ Вт}$$

$U_0 = 13 \text{ В}$ - управляющее напряжение,

$$L = 0,125 \frac{3r \cdot U_0^2}{P_2} = 0,57 \text{ мГ},$$

$$L \cdot C = \frac{1}{\omega_0^2} = \frac{r^2}{\pi^2} = 8,2 \cdot 10^{-12} \text{ с}^2$$

откуда следует $C = \frac{8,2 \cdot 10^{-12} \text{ с}^2}{0,57 \cdot 10^{-3} \text{ Г}} = 14 \text{ нФ}$.

Зная L_1 , можно определить число витков первичной катушки по следующей формуле:

$$N_1 = \sqrt{\frac{L_1}{A_L(d)}} = \sqrt{\frac{0,54 \cdot 10^{-2}}{800 \cdot 10^{-9}}} = 26$$

где A_L - индуктивность феррита в нГ , d - диаметр провода в мм .

Величина напряжения, возникающего во вторичной катушке, ограничивается электрической прочностью ее изоляции, параметрами управляющего диода и паразитными колебаниями в катушке. Для диода ВУ184 это напряжение не должно превышать $1,8 \text{ кВ}$.

Для получения более высоких напряжений нужно применять схемы умножения напряжения. Число витков вторичной катушки определяется по следующей формуле /предполагая максимальное напряжение батарей U_0 равным 15 В /:

$$N_2 = N_1 \frac{1,8 \text{ кВ}}{\hat{U}_C} = N_1 \frac{1,8 \text{ кВ}}{U_0(1 + \pi \frac{t_1}{\tau})} = N_1 \frac{1,8 \text{ кВ}}{15 \text{ В} (1 + \frac{3}{2}\pi)}$$

Время T_2 определяется следующим соотношением:

$$\tau < T_2 < 2\tau,$$

нижний предел не может быть меньше τ , так как в это время навстречу току i_l течет ток источника питания и ослабляет его, а значит, уменьшает величину положительного сигнала. Верхний предел 2τ , так как во время $(2\tau - \tau)$ ключ K включен через диод D .

УПРАВЛЕНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ НАПЯЖЕНИЯ

Выходное напряжение U_a пропорционально напряжению U_0 . Если напряжение на транзисторе T_2 меняется от 0 до 13 В , то выходное напряжение U_a будет меняться от 0 до 4 кВ . Поскольку выходное напряжение операционного усилителя меняется в пределах $\pm 11 \text{ В}$ относительно потенциала земли, то необходимо согласовать его выход со входом транзистора T_2 .

Это согласование производится таким образом, чтобы в случае кратковременного замыкания ток I_{C2} , текущий через транзистор T_2 , не превышал определенной величины:

$$I_{C2} = I_{C2} = \beta(T_2) \frac{26 \text{ В}}{2,7 \text{ К}} \sim 0,5 \text{ А}$$

При длительном замыкании защита обеспечивается предохранителем в коллекторе T_2 .

Отрицательная обратная связь между коллектором транзистора T_2 и положительным входом операционного усилителя, а также между выходом и отрицательным входом операционного усилителя поддерживает колебания выходного напряжения на определенном малом уровне. Так как выходное напряжение U_a пропорционально входному напряжению U_e , то изменение U_e определяет стабильность выходного напряжения. Поэтому для повышения стабильности генератора высокого напряжения U_e снимается с интегрального стабилизатора напряжения ($\mu\text{A}723$).

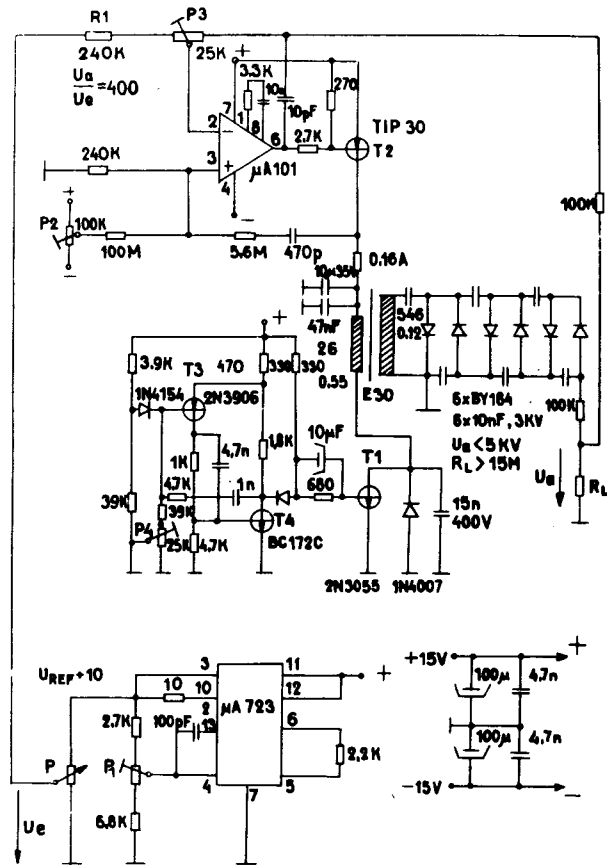


Рис. 4

Регулировка U_a осуществляется изменением U_e , которое определяется U_{REF} - опорным напряжением. Сопротивление потенциометра P должно быть порядка $10^{-3} R_1$.

ПОДГОТОВКА ПРИБОРА К РАБОТЕ

После включения прибора необходимо добиться с помощью потенциометров P_2 и P равенства нулю напря-

жений U_e и U_a . Затем, изменяя U_e от 0 до 10 В с помощью потенциометров P и P_3 , можем получить любое напряжение на выходе, от 0 до 4 кВ. Выходное напряжение линейно зависит от U_e .

В работе в основном применены американские интегральные схемы и элементы, аналоги которых существуют в СССР и странах СЭВ.

Как показали длительные испытания, проведенные в ЛНФ, прибор обладает стабильностью высокого напряжения не хуже 10^{-3} /пульсации напряжения не превышают 0,3 В/.

Использованные микросхемы обеспечивают получение указанных параметров в интервале температур от 0°С до 40°С.

В заключение хотелось бы выразить благодарность Л.Черу, Д.Рубину, В.Г.Симкину, А.В.Стрелкову за интерес к работе и полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Elektronik*, 1973, Heft 3.

Рукопись поступила в издательский отдел
20 декабря 1977 года.