

Л. Л. Декабрун и А. Р. Мкртчян

### Опорное напряжение для стабилизаторов тока большой точности

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР Н. М. Кочаряном 25/III 1964)

Одна из основных задач, возникающих при разработке радиоспектроскопической аппаратуры, состоит в том, чтобы для ориентации магнитных моментов ядер или электронов в атомах исследуемого вещества получить магнитное поле  $H_0$ , имеющее достаточно высокую точность. Этим понятием объединяются следующие характеристики магнитного поля:

- 1) однородность поля в необходимом рабочем объеме;
- 2) его стабильность во времени.

Необходимая однородность магнитного поля достигается путем выбора надлежащей конструкции магнита в целом и, в особенности, его полюсных наконечников, а также технологией механической и термической обработки ответственных частей магнитопровода (1,2). Кроме того, разработаны методы коррекции магнитного поля в заданной области с помощью системы контуров, несущих электрические токи (3).

Необходимая стабильность  $H_0$  задается той минимальной скоростью развертки спектров, которая требуется при исследовании заданного класса веществ. Результирующая скорость магнитной развертки может быть, очевидно, представлена как сумма двух слагаемых:

$$(\dot{v}_m)_p = \frac{dH_0}{dt} + \frac{\delta H_0}{dt} \quad (1)$$

Здесь:

$$\frac{dH_0}{dt} = F_1(t) \quad (2)$$

— есть закономерность изменения  $H_0$ , заданная условиями эксперимента. В радиоспектрометрах это, в большинстве случаев, постоянная величина. Иногда (например, в масспектрометрах)  $F_1(t)$  может быть экспонентой. Возможны и другие виды  $F_1(t)$ .

Второе слагаемое в уравнении (1)

$$\frac{\delta H_0}{dt} = f_1(t) \quad (3)$$

отражает самопроизвольное изменение  $H_0$  в результате процессов, которые не могут контролироваться оператором. Для воспроизводимости результатов измерения, очевидно, необходимо выдержать соотношение:

$$\left| \frac{\delta H_0}{dt} \right| \ll \left| \frac{dH_0}{dt} \right| \quad (4)$$

которым и определяются требования к системе стабилизации  $H_0$ . Эта система должна удерживать самопроизвольные изменения  $H_0$  в таких пределах, чтобы:

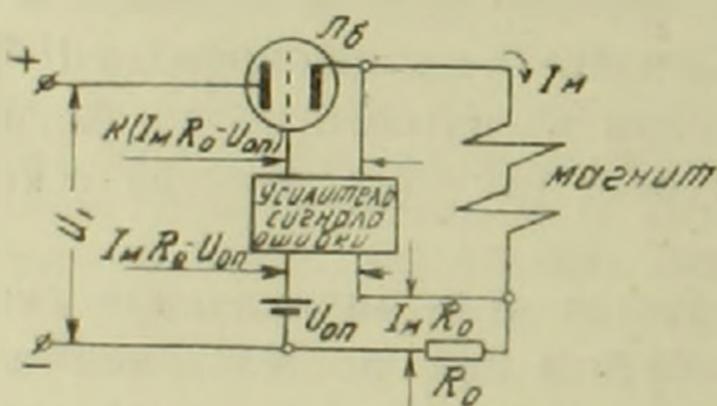
$$\left| \frac{\delta H_0}{dt} \right| \ll \left| \frac{dH_0}{dt} \right|_{\text{мин.}} \quad (5)$$

В наиболее точных радиоспектрометрах для достижения необходимой стабильности магнитного поля электромагнитов применяются две независимые системы:

1) система стабилизации тока возбуждения  $I_m$  в обмотке электромагнита (4, 5);

2) система стабилизации потока  $\Phi$  (система суперстабилизации) или же система стабилизации напряженности магнитного поля на основе явления ядерного магнитного резонанса (7).

Применение второй системы того или иного вида возможно только при условии высококачественной стабилизации.



Фиг. 1. Принципиальная схема стабилизатора тока.

На фиг. 1 представлен принцип наиболее распространенных систем стабилизации тока  $I_m$  (8). Падение напряжения на контрольном сопротивлении  $I_m R_0$  сравнивается с опорным напряжением  $U_{оп}$ . Разность  $I_m R_0 - U_{оп}$  усиливается усилителем сигнала ошибки и, изменяя сеточное напряжение проходных ламп  $L_6$ , управляет величиной  $I_m$ .

Если эта система имеет достаточно большой коэффициент передачи разомкнутой петли

$$k \cdot s \cdot R_0 = k_p \quad (6)$$

( $k$  — коэффициент усилителя сигнала ошибки,  $s$  — крутизна проходных ламп  $L_6$ ), то ее установившееся состояние характеризуется соотношением:

$$(I_m)_{уст} = \frac{U_{оп}}{R_0} \quad (7)$$

из которого следует, что

$$\frac{\delta (I_m)_0}{dt} \approx \text{const} \frac{\delta U_{оп}}{dt} \quad (8)$$

Так, если по назначению спектрометра необходимо, чтобы,

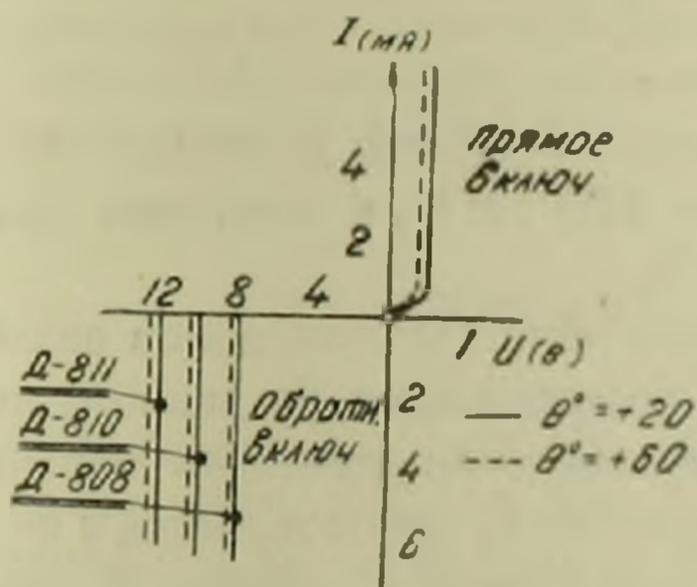
$$\frac{1}{(I_M)_0} \cdot \frac{\delta(I_M)_0}{dt} \leq 10^{-6} / \text{сек}$$

то самопроизвольные изменения опорного напряжения по порядку величины должны быть того же порядка или меньше:

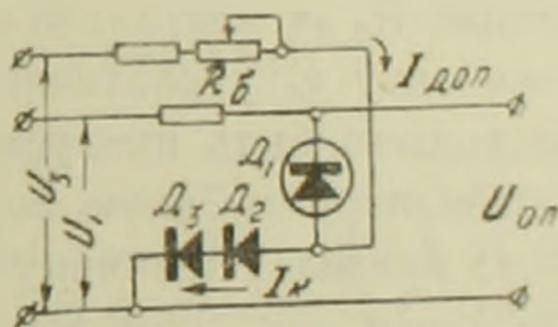
$$\frac{1}{U_{оп}} \cdot \frac{\delta U_{оп}}{dt} \leq 10^{-6}$$

Напряжение, удовлетворяющее этому условию, не может быть получено простыми средствами. Достаточно отметить, что нормальные элементы, являющиеся метрологическими эталонами, могут обеспечить такую точность только при условии тщательного термостатирования<sup>(9)</sup>. Более удобны окисно-ртутные элементы, например, типа ОР-4, но они требуют периодического контроля.

При разработке спектрометра ядерного магнитного резонанса, предназначенного для исследования кристаллов<sup>(10)</sup>, авторы предприняли попытку получить для системы стабилизации  $I_M$  опорное напряжение от сети, не прибегая к использованию химических источников тока. В литературе отмечалась принципиальная возможность использования напряжения кремниевых стабилитронов (диодов Зенера) в качестве опорного напряжения в прецизионных системах стабилизации<sup>(11, 12)</sup>. Однако практические схемы не опубликованы.



Фиг. 2. Характеристики кремниевых стабилитронов отечественного производства.

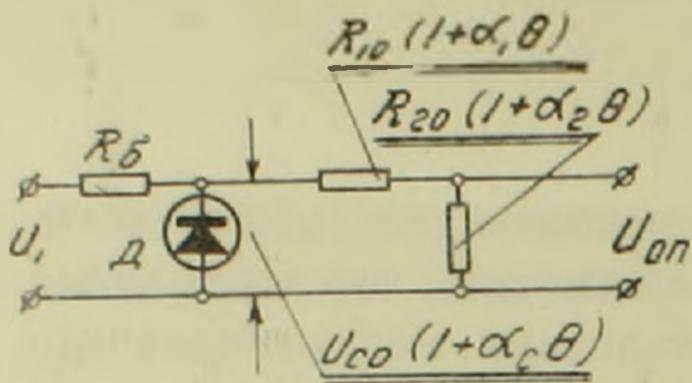


Фиг. 3. Схема температурной компенсации напряжения кремниевого стабилитрона.

На фиг. 2 приведены характеристики кремниевых стабилитронов отечественного производства. Там же приведена типовая характеристика  $P-n$ -перехода кремниевого диода для прямого включения. Температурные коэффициенты напряжения для прямого и обратного включений имеют противоположные знаки, что позволяет осуществить температурную компенсацию по схеме, представленной на фиг. 3<sup>(12)</sup>. Наилучшая компенсация достигается регулировкой тока через компенсирующие  $P-n$  переходы. На фиг. 3 через эти переходы пропускается дополнительный ток от вспомогательного источника  $U_2$ . В некоторых случаях необходимо, чтобы ток компенсирующих диодов был меньше тока стабилизирующего диода. Для этого компенсирующие диоды шунтируют внешним сопротивлением. Собственный дрейф

(при  $\theta = \text{const}$ ) выходного напряжения таких диодных групп может составлять всего лишь  $(2-3) \cdot 10^{-8}$  сек., что вполне достаточно для систем стабилизации  $I_m$ . Однако схема требует тщательной юстировки и периодической проверки.

Авторы полагают, что более простое решение задачи дает применение компенсирующего делителя (фиг. 4). В этой схеме:



$$U_{оп}(\theta) = \frac{R_{20}(1 + \alpha_2\theta)}{R_{10}(1 + \alpha_1\theta) + R_{20}(1 + \alpha_2\theta)} \times U_{co}(1 + \alpha_c\theta) \quad (9)$$

( $\alpha$  — температурные коэффициенты соответствующих элементов,  $\theta$  — температура их).

Фиг. 4. Принцип термокомпенсирующего делителя напряжения.

Из (9) находим:

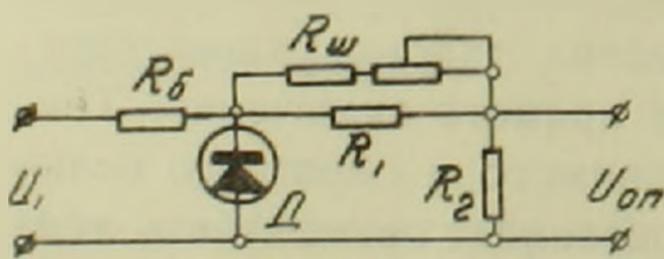
$$\frac{dU_2}{d\theta} = \frac{\alpha_2 + \alpha_c - \frac{R_{10}\alpha_1 + R_{20}\alpha_2}{R_{10} + R_{20}}}{\left[1 + \frac{R_{10}\alpha_1 + R_{20}\alpha_2}{R_{10} + R_{20}}\right]^2} U_{20} \quad (10)$$

откуда получаем условие полной температурной компенсации  $U_{оп}$

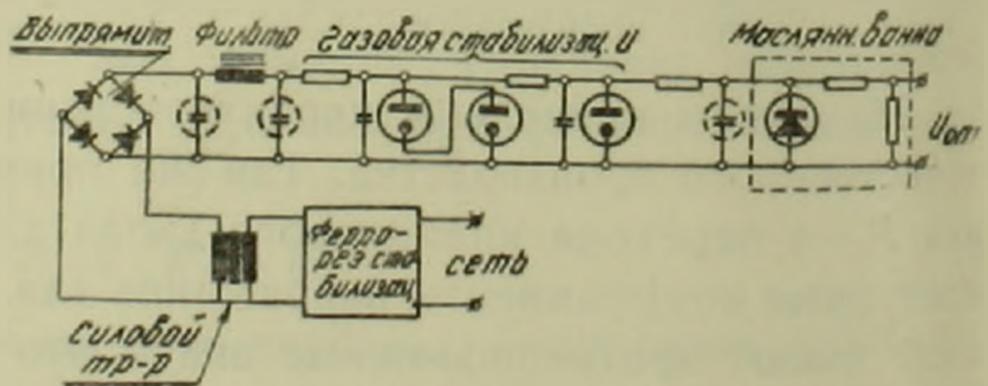
$$\frac{R_{20}}{R_{10}} = \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{\alpha_c} - 1 \quad (11)$$

Удобными материалами для компенсирующего делителя являются медь для сопротивления  $R_1$  ( $\alpha$  меди =  $3,93 \cdot 10^{-3}$ ) и манганин для сопротивления  $R_2$  ( $\alpha$  манганина =  $2 \cdot 10^{-5}$ ).

Поскольку  $\alpha_c$  у различных экземпляров стабилитронов различно, в схеме должна быть предусмотрена подстройка ее по данному экземпляру стабилитрона. Такую подстройку легко осуществить варьируя в небольших пределах величину  $R_1$ . Для этого  $R_1$  изготавливается с небольшим плюсовым допуском, после чего высокоомным шунтом  $R_m$  (фиг. 5) доводится до необходимой величины. Поскольку  $R_m \gg R_1$ , температурный коэффициент  $R_m$  играет очень малую роль и шунт



Фиг. 5. Принцип индивидуальной юстировки схемы опорного напряжения.



Фиг. 6. Полная принципиальная схема источника опорного напряжения с сетевым питанием.

может быть выполнен из композиционных сопротивлений типа ВС.

Измерения, выполненные на стабилитронах Д-808, в схеме без подстроечного шунта, в условиях, при которых медное сопротивление  $R_1$ , манганиновое сопротивление  $R_2$  и стабилитрон находились в об-

шей масляной ванне показали, что при изменении  $\theta$  в пределах от  $18^\circ$  до  $45^\circ\text{C}$   $U_{оп}$  изменяется не более чем на  $10^{-6}$  своей начальной величины. Это дает возможность использовать получаемое таким образом напряжение в качестве опорного, не прибегая к термостатированию элементов схемы.

На фиг. 6 представлена полная схема источника опорного напряжения, использованная авторами в системе питания электромагнита ЭМ-10 000, разработанного для ядерно-резонансной спектроскопии кристаллов.

Институт химической физики  
Академии наук СССР

Լ. Լ. ԴԵԿԱԲՐՈՒՆ ԵՎ Ս. Ռ. ՄԿՐՏՉՅԱՆ

### Նեցուկային լարում մեծ ճեզրտուրյան հոսանքի կայունացման համար

Հոդվածում քննարկված է էլեկտրամագնիսների հոսանքի կայունացման սխեմայի նեցուկային լարման աղբյուրներին վերաբերվող հիմնական պահանջները:

Նկարագրված է այդ պահանջները բավական մեծ ճեզրտուրյամբ և առանց ջերմակարգավորիչ հասուկ միջոցառումների բավարարող, փոփոխական հոսանքի ցանցից սնվող նեցուկային լարման կոնկրետ աղբյուր ու տրված է նրա սխեման:

Որպես այդպիսի աղբյուրի հիմնական մաս, ծառայել է կայծբարայն ստաբիլիտրոնը լարման ջերմհամակշռող (термокомпенсирующий) բաժանարարի հետ:

Հեղինակները նշված նեցուկային լարման աղբյուրի սխեման օգտագործել են բյուրեղների միջուկա-ռեզոնանսային սպեկտրոսկոպիայի համար իրենց կիրառած ЭМ-10,000 էլեկտրամագնիսի սնման սխեմայում:

### ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

<sup>1</sup> Н. Примас, Р. Арнд, Р. Ернст, Ztschr. für Instrumentenkunde, 1959. <sup>2</sup> А. Блаум, М. Пакард, Science, 122, 738—741, 1955. <sup>3</sup> В. Андерсон, Сборник „ЯМР и ЭПР спектроскопия“, ИИЛ, 1964. <sup>4</sup> А. Леше, Ядерная индукция, ИИЛ, 1963. <sup>5</sup> Н. Примас, Н. Гутовский, The Rev. of Sc. Instr. 28; 510; 1957. <sup>6</sup> Р. Л. Гарвин, Д. Гутчинсон, Пенмаус, The Rev. of Sc. Instr. 30, 105, 1959. <sup>7</sup> Ю. П. Денисов, ПТЭ, 1959, № 1. <sup>8</sup> Л. Декабрун, Усилители и источники питания, Роствиздат, 1961. <sup>9</sup> Курс электроизмерений, п/р В. Прыткова и А. Талицкого, ГЭИ, 1960. <sup>10</sup> Л. Декабрун, А. Мкртчян, Известия АН Арм. ССР, серия физ-мат. наук, т. 17, № 7, 1964. <sup>11</sup> Н. Примас, Р. Арнд, Р. Ернст, Ztschr. für Instrumentenkunde, 1960, янв. <sup>12</sup> Додик С. Полупроводниковые стабилизаторы постоянного напряжения и тока. М., „Сов. радио“, 1962.