

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ РСФСР
ПО ДЕЛАМ НАУКИ И ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ
КУЙБЫШЕВСКИЙ ордена ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ имени АКАДЕМИКА С. П. КОРОЛЕВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИОМЕТРОВ

*Методические указания
к лабораторной работе*

САМАРА 1991

Составители: М. И. Пигаиов, Г. П. Шонин

УДК 621.3.011

Исследование вариометров: Метод, указания к лаборатор. работе / Куйбышев. авиац. ин-т.; Сост. М. И. Пигаиов, Г. П. Шонин. Самара, 1991. 19 с.

Содержатся краткие теоретические сведения по вариометрам: принцип действия, основные параметры и конструкции. Приводятся расчетные и экспериментальные данные основных характеристик вариометров. Описывается схема экспериментальной установки для исследования различных типов вариометров.

Предназначены для студентов, обучающихся по спец. 23.01 и 23.03. Составлены на кафедре «Микроэлектроника и технология РЭА».

Печатается по решению редакционно-издательского совета Куйбышевского ордена Трудового Красного Знамени авиационного института имени академика С. П. Королёва.

Рецензент В. А. Олейников

Цель работы — изучение свойств и конструктивных особенностей различных типов вариометров и исследование возможности их применения в перестраиваемом колебательном контуре для различных диапазонов частот.

Задания:

1. Изучить конструкции вариометров.
2. Изучить характер влияния материала сердечника на основные параметры вариометра.
3. Изучить параметры катушки индуктивности и параллельного колебательного контура с потерями.
4. Ознакомиться с порядком и методикой выполнения работы

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ

Во всех приемных и передающих устройствах основным элементом схемы является колебательный контур (рис. 1). *Колебательный контур* — это устройство, позволяющее благодаря своим частотным свойствам выделять из широкого спектра частот необ-

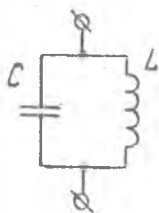


Рис. 1. Колебательный контур

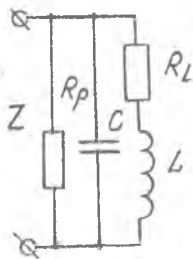


Рис. 2. Параллельный колебательный контур с потерями

ходимую составляющую путем настройки с ней в резонанс. Частота составляющей входного сигнала, выделяемой колебательным контуром, при этом

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}},$$

где C — значение емкости; L — значение индуктивности контура.

В силу неидеальности конденсаторов и катушек индуктивности в колебательном контуре возникают потери (рис. 2). Импеданс контура при $R_p \gg R_L$

$$Z = \frac{j\omega L + R_L}{1 + j\omega[R_L C + (L/R_p)] - \omega^2 LC},$$

где R_p и R_L — активные составляющие комплексного сопротивления, соответственно конденсатора и индуктивности

Отсюда можно получить параметры контура:
резонансная частота контура без затухания

$$\omega_0 = 2\pi f_0 = 1/\sqrt{LC},$$

резонансная частота контура с затуханием

$$\omega_p = \omega_0 \sqrt{1 - R_L^2(C/L)},$$

затухание контура

$$d = R_L \sqrt{C/L} + (1/R_p) \sqrt{L/C},$$

добротность контура

$$Q = 1/d,$$

ширина полосы пропускания

$$B = f_0 d = f_0/Q,$$

резонансное сопротивление

$$R_0 = L/(R_L C + L/R_p).$$

В большинстве случаев бывает необходимо делать перестройку контуров радиоприемных и радиопередающих устройств. Изменение несущей (резонансной) частоты контура f_0 возможно только при изменении одного из его параметров — емкости или индуктивности. В настоящее время для плавной перестройки колебательных контуров широко применяются конденсаторы переменной емкости и подстроечные конденсаторы. Однако плавная перестройка частоты может осуществляться и с помощью изменения индуктивности. Для этой цели применяются варномеры — катушки индуктивности (рис. 3), величина которых может быть изменена оператором в процессе эксплуатации.

На практике применяется несколько конструкций варнометров, в которых изменение индуктивности происходит за счет:

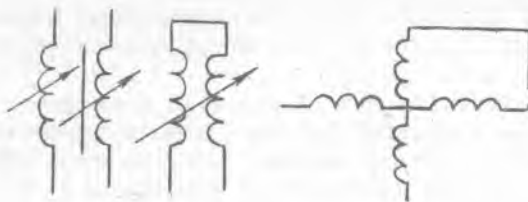


Рис. 3. Изображение вариометра на схемах

плавного изменения числа витков однослойной цилиндрической катушки;

изменения взаимной индуктивности между двумя катушками, соединенными последовательно и параллельно;

перемещения введенного в катушку немагнитного сердечника; перемещения введенного в катушку магнитного сердечника.

Поскольку основным узлом любого вариометра является катушка индуктивности, рассмотрим ее параметры подробнее.

Параметрами катушки являются собственная индуктивность L , сопротивление потерь r_L и собственная емкость C_L . Полная эквивалентная схема катушки изображена на рис. 4,а. Сопротивление

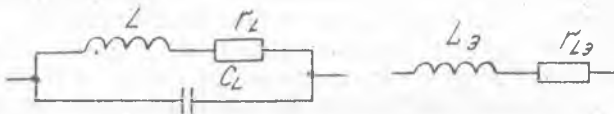


Рис. 4. Эквивалентные схемы катушки: а — полная; б — упрощенная

r_L обусловлено омическими потерями, потерями в экранах, сердечниках. Собственная емкость — электрической емкостью между отдельными витками, емкостями между витками и экраном катушки и т. п.

Кроме этих параметров катушки индуктивности характеризуются также резонансной частотой $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ и добротностью $Q_L = \omega L / r_L$.

Катушки индуктивности обычно применяются на частотах, ниже резонансной $\omega < \omega_p$. На этих частотах эквивалентную схему можно представить как последовательное соединение эквивалентной индуктивности L_3 и сопротивления r_{L3} (рис. 4,б):

$$L_3 = \frac{L}{1 - (\omega / \omega_p)^2}; \quad r_{L3} = \frac{r_L}{1 - (\omega / \omega_p)^2}$$

Большинство методов измерения параметров катушки индуктивности дают значения именно эквивалентных параметров. Если рабочая частота $\omega < 0,1 \omega_p$, то с погрешностью менее 1% можно считать, что $L_{\Sigma} = L$, $r_{L_{\Sigma}} = r_L$.

Единица индуктивности — генри (Гн) в высшем метрологическом звене воспроизводится государственным первичным эталоном. В лабораторной практике широко используются образцовые катушки индуктивности. Паразитные параметры r_L , C_L образцовых средств стремятся выполнить очень малыми.

Основными параметрами для оценки и сравнения варномеров являются следующие:

пределы изменения индуктивности L_{\max} и L_{\min} ;

коэффициент перекрытия $K_L = L_{\max}/L_{\min}$;

добротность Q .

При сравнении конструкций варномеров обычно используют коэффициент перекрытия. У варномеров, в которых не используют магнитные сердечники, на практике удалось получить коэффициент перекрытия не более 10. К тому же они имеют значительные размеры и незначительную величину индуктивности. Для увеличения индуктивности, уменьшения габаритных размеров, а также получения других качественных показателей катушки индуктивности варномеров устанавливаются на магнитные сердечники различной конструкции, изготовленные из ферромагнитных сплавов или ферритов с различными магнитными свойствами.

Известно, что вокруг всякого проводника с током I существует магнитное поле, которое характеризуется двумя векторными величинами — магнитной индукцией B и напряженностью магнитного поля H . Единица измерения магнитной индукции — тесла (Тл), а напряженности — ампер на метр (А/м). Если материал катушки и окружающая ее среда изотропны, то магнитная индукция и напряженность магнитного поля связаны соотношением

$$B = \mu_r \mu_0 H,$$

где $\mu_0 = 0,4\pi$ мкГн/м — магнитная постоянная; μ_r — относительная магнитная проницаемость среды.

Если в некоторой области магнитные силовые линии расположены равномерно, то поле в этой области называется однородным. Магнитная индукция B в нем везде одна и та же.

Магнитное поле, перпендикулярно пронизывающее какую-либо площадь S , называют магнитным потоком Φ , т. е.

$$\Phi = BS.$$

Единица измерения магнитного потока — вебер (Вб).

Рассмотрим свойства катушки, витки которой равномерно распределены по периметру тонкослойного кольцевого магнитного

сердечника радиусом r с соотношением внешнего диаметра к внутреннему, близким к единице. В таком сердечнике отсутствует рассеяние магнитного потока, и его магнитные свойства полностью совпадают со свойствами материала, из которого он изготовлен.

Пусть исходное состояние материала соответствует полному размагничиванию ($B = 0$, $H = 0$). Если постепенно увеличивать постоянный ток I в катушке, то под действием напряженности внешнего магнитного поля $H = I \omega / 2 \pi r$ материал сердечника начнет намагничиваться. При этом зависимость $B(H)$ опишет некоторую кривую (рис. 5, участок OB_S), называемую *кривой первоначального намагничивания*. Намагниченность материала, начиная с некоторых значений напряженности внешнего магнитного поля H , практически не изменяется, и образует область, называемую *областью насыщения*. При уменьшении постоянного тока и изменении его направления зависимость $B(H)$ опишет характеристику, называемую *предельной статической петлей гистерезиса*. По характеру предельной статической петли гистерезиса и коэрцитивной силе (H_c) магнитные материалы подразделяются на магнитомягкие и магнитотвердые. Магнитотвердые материалы имеют большую коэрцитивную силу и используются главным образом для изготовления постоянных магнитов. Для изготовления сердечников используются только магнитомягкие материалы.

Различают магнитомягкие материалы с обратимым и необратимым характером намагничивания. Магнитомягкие материалы с необратимым изменением намагниченности используются, например, в устройствах памяти ЭВМ. Обратимые свойства в таких материалах крайне слабо выражены, и остаточная индукция B_r может составлять 90—98% индукции насыщения. Магнитомягкие материалы, обладающие в основном обратимыми свойствами намагничивания, намагничиваются либо в импульсном режиме, либо при синусоидальной напряженности внешнего поля. В обоих случаях используется линейная часть статической характеристики.

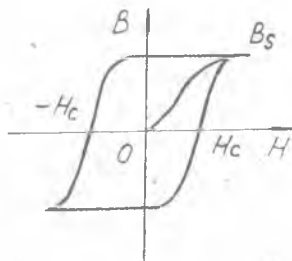


Рис. 5. Статическая характеристика магнитного материала

КОНСТРУКЦИИ ВАРИОМЕТРОВ

Ферровариометры. Вариометры, в которых применяются магнитные сердечники, принято называть *ферровариометрами*. Они значительно меньших размеров, коэффициент перекрытия таких вариометров можно получить значительно больше, чем у обычных вариометров. В определенных конструкциях он достигает $K = 85 \dots 100$. В настоящее время ферровариометры используются в некоторых автомобильных приемниках, в телевидении, в электромузыкальной аппаратуре, а также измерительных приборах. Целесообразно применять ферровариометры для настройки контуров УКВ на частотах $50 \dots 70$ мГц. Эта область частот ограничена тем, что на более низких частотах необходимо значительно увеличивать размеры (в противном случае резко снижается добротность), на более высоких частотах сильно уменьшается магнитная проницаемость ферромагнитных материалов, что ведет к снижению индуктивности и добротности контуров.

Рассмотрим несколько конструкций ферровариометров и принципы их работы. Наиболее распространены такие конструкции ферровариометров, в которых изменение индуктивности достигается изменением положения ферромагнитных сердечников.

В конструкции ферровариометра, представленного на рис. 6, применяются магнитный и металлический экраны. Металлический экран предназначен для уменьшения влияния внешних электро-

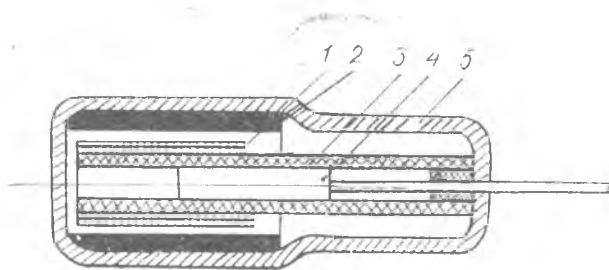


Рис. 6. Ферровариометр с подвижным магнитным сердечником: 1 — катушка; 2 — цилиндрический магнитный экран; 3 — каркас; 4 — цилиндрический сердечник; 5 — металлический экран

магнитных полей на катушку. Однако экран уменьшает коэффициент перекрытия почти на 50%. Чтобы уменьшить влияние металлического экрана, ставится магнитный экран. В качестве материала для подвижного сердечника применяются ферриты с высокой магнитной проницаемостью. Для повышения добротности

сти длина подвижного магнитного сердечника выбирается в 5—10 раз больше диаметра, а диаметр катушки должен быть как можно ближе к диаметру сердечника, так чтобы $D_H - D_C \leq 1,0$ мм. График зависимости изменения индуктивности катушки с сердечником от перемещения сердечника представлен на рис. 7.

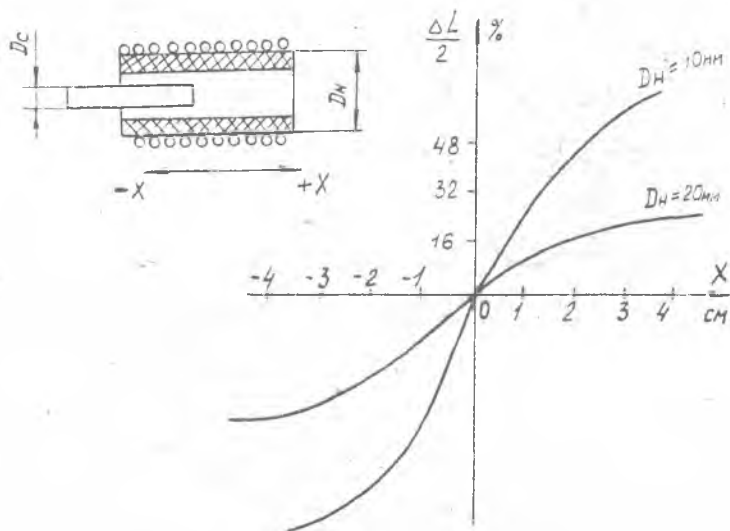


Рис. 7. График зависимости $\Delta L/2$ от перемещения сердечника X ($D_C = 9$ мм)

Также проста конструкция ферровариометра с взаимной индуктивностью. Он состоит из двух дисков из магнитного материала с П-образным сечением. На дисках расположена восьмерочная катушка. С ее помощью в дисках возникают магнитные поля. При совпадении напряжения этих полей (рис. 8) магнитные потоки обеих обмоток складываются и индуктивность становится максимальной:

$$L_{\max} = L_p + L_c + 2M.$$

При повороте ротора на 180° индуктивность ферровариометра будет минимальной:

$$L_{\min} = L_p + L_c - 2M.$$

Коэффициент перекрытия такого вариометра равен 20...30:

$$K_L = \frac{L_p + L_c + 2M}{L_p + L_c - 2M}.$$

Большое изменение индуктивности, т. е. высокий коэффициент перекрытия, можно получить, используя зависимость от изменения

каких-либо параметров, например, зазора. Известно, что при изменении немагнитного зазора между двумя магнитопроводами резко меняется магнитная проницаемость магнитопровода (рис. 9) — это явление можно использовать в феррорварио-

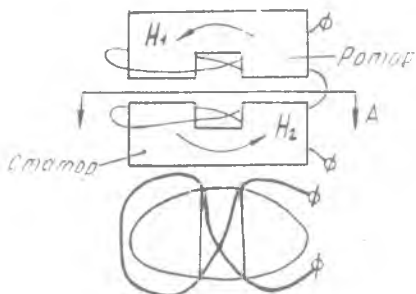


Рис. 8. Феррорвариометр с вращающимся сердечником из магнитного материала



Рис. 9. График зависимости магнитной проницаемости материала от изменения немагнитного зазора

метрах. Примером может служить феррорвариометр (рис. 10), в котором совмещено изменение индуктивности при введении стержня в катушку и изменение магнитной проницаемости сердечника за счет изменения немагнитного зазора. При перемещении сердечника слева направо будет происходить изменение индуктивности за счет непосредственного влияния магнитного стержня на катушку, а когда коническая часть отверстия будет входить в коническое отверстие в ферритовом цилиндре, изменение индуктивности будет происходить за счет изменения магнитной системы при уменьшении немагнитного зазора.

Перспективно использовать зависимость изменения магнитной проницаемости ферритовых материалов при изменении величины магнитного поля в сердечнике (рис. 11).

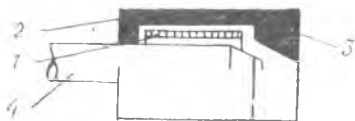


Рис. 10. Феррорвариометр совмещенного действия: 1 — катушка; 2 — ферритовый стакан; 3 — ферритовый цилиндр с коническим отверстием; 4 — выдвижной сердечник



Рис. 11. График зависимости магнитной проницаемости от напряженности подмагничивающего поля

Конструкция вариометра, использующего этот принцип, состоит из замкнутого магнитопровода, на котором помещено две катушки. Одна из катушек управляющая. На нее подается постоянное напряжение. Известно, что напряженность магнитного поля пропорциональна протекаемому в обмотке току. Следовательно, изменяя ток подмагничивающей катушки, мы меняем напряженность магнитного поля, в результате чего меняется индуктивность второй катушки. Значение K_L таких вариометров может достигать 100.

Вариометры с немагнитными сердечниками. В диапазоне УКВ нашли применение немагнитные сердечники (рис. 12), позволяющие осуществлять перестройку индуктивности в

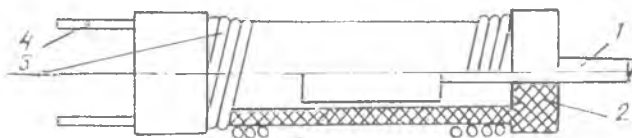


Рис. 12 Вариометр с немагнитным сердечником: 1 — латунный сердечник; 2 — каркас; 3 — обмотка; 4 — выводы

небольших пределах. При введении в катушку немагнитного сердечника ее индуктивность уменьшается за счет размагничивающего действия вихревых токов, наводимых в сердечнике собственным полем катушки. Изменением глубины погружения сердечника в катушку можно получить 10—15-процентное изменение индуктивности. Добротность катушки при введении немагнитного сердечника падает, что объясняется уменьшением индуктивностей и увеличением потерь, обусловленных наличием вихревых токов в сердечнике. Для более эффективного воздействия на индуктивность катушки магнитные сердечники изготавливают из материала с малым удельным сопротивлением (медь, латунь, алюминий). Поверхность сердечника покрывают слоем серебра. Немагнитные сердечники просты по конструкции и дешевы в производстве. Они применяются там, где уменьшение добротности катушки не является важным фактором (широкополосные усилители промежуточной частоты). Важным свойством немагнитных сердечников является высокая стабильность, поэтому их иногда применяют в катушках стабильных генераторов и гетеродинов.

Вариометр с переменной взаимной индуктивностью. Конструктивно вариометр с переменной взаимной индуктивностью выполняется из двух катушек, расположенных одна в другой (рис. 13). Полная индуктивность вариометра определяется индуктивностями статора и ротора и изменяющейся взаимной индуктивностью между ними. Как видно из рис. 13, при

вращении ротора взаимная индуктивность между катушками изменяется по косинусоидальному закону:

$$M_c = \Phi_c / I_c = (\Phi \cos \varphi) / I_c = M \cos \varphi;$$

где M_c — значение взаимной индуктивности, соответствующее углу поворота φ ;

M — максимальное значение взаимной индуктивности.

Взаимная индуктивность в микрогенри между concentрическими обмотками определяется по приближенной формуле

$$M = \pi^2 \cdot 10^{-3} \frac{D_p N_p N_c}{\sqrt{D_c^2 + l_c^2}},$$

где D_p — диаметр каркаса ротора, см; N_p — количество витков обмотки ротора; N_c — количество витков обмотки статора; D_c — диаметр каркаса статора, см; l_c — длина намотки статора, см.

Максимальный коэффициент связи между катушками

$$K_{M \max} = \frac{M}{\sqrt{L_p L_c}},$$

где L_p — индуктивность ротора; L_c — индуктивность статора.

Величина коэффициента связи между катушками зависит от формы катушек, их размеров и взаимного расположения. От коэффициента связи зависит коэффициент

перекрытия варнометра по индуктивности и по частоте:

$$K_I = \frac{L_{\max}}{L_{\min}} = K_f^2 = \frac{f_{\max}^2}{f_{\min}^2}.$$

Величина индуктивности варнометра и закон ее изменения от угла поворота ротора зависят от способа соединения обмоток ротора и статора (последовательное или параллельное), их конструктивного выполнения и коэффициента связи. При последовательном соединении ротора и статора индуктивность варнометра определяется по формуле

$$L' = L_c + L_p \mp 2 M \cos \varphi$$

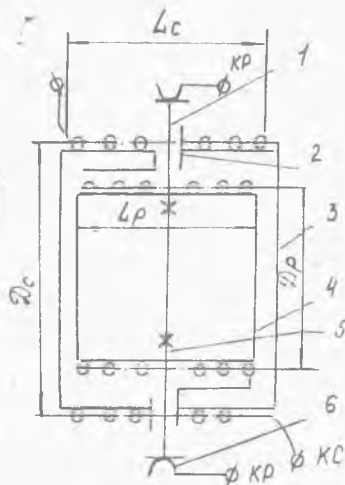


Рис. 13. Варнометр с переменной взаимной индуктивностью: 1 — металлическая полусось; 2 — подшипник; 3 — статор; 4 — ротор; 5 — изоляционная полусось; 6 — скользящий контакт

Зависимость индуктивности вариометра от угла поворота ротора показана на рис. 14. При $\varphi = 0$ или 360° обмотки ротора и статора соединены встречно и индуктивность минимальна:

$$L'_{\min} = L_c + L_p - 2M.$$

При $\varphi = 180^\circ$ обмотки ротора и статора соединены согласно и индуктивность вариометра максимальна:

$$L'_{\max} = L_c + L_p + 2M.$$

При $\varphi = 90^\circ$ или $\varphi = 270^\circ$ магнитная связь между ротором и статором отсутствует и индуктивность вариометра определяется суммой индуктивностей статора и ротора:

$$L' = L_c + L_p.$$

Максимальная вариация индуктивности вариометра

$$\Delta L'_{\max} = L'_{\max} - L'_{\min} = 4M.$$

Коэффициент перекрытия по индуктивности

$$K_L = \frac{L'_{\max}}{L'_{\min}} = \frac{L_c + L_p + 2M}{L_c + L_p - 2M}. \quad (1)$$

Обозначив через m отношение L_c/L_p , формулу (1) преобразуем к виду

$$K_L = \frac{1 + m + 2K\sqrt{m}}{1 + m - 2K\sqrt{m}}. \quad (2)$$

Анализ формулы (2) показывает, что максимальное значение коэффициента перекрытия будет при равных индуктивностях ротора и статора ($K_L = 1$)

$$K_L = \frac{1 + K}{1 - K}.$$

Зависимость резонансной частоты колебательного контура от угла поворота ротора вариометра имеет нелинейный характер и определяется выражением

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{C(L_c + L_p - 2M \cos \varphi)}}.$$

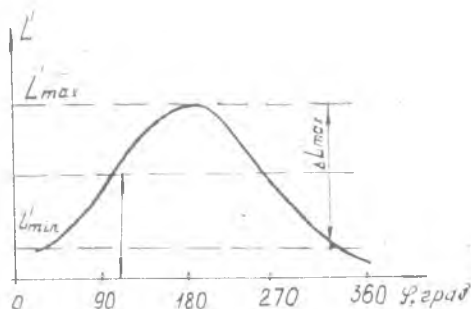


Рис. 14. Изменение индуктивности вариометра от угла поворота ротора

При параллельном соединении обмоток ротора и статора индуктивность варьометра

$$L'' = \frac{L_c L_p - 2 M^2 \cos^2 \varphi}{L_c + L_p + 2 M \cos \varphi} \quad (3)$$

В этом случае (см. рис. 14)

$$\begin{aligned} L''_{\max} &= \frac{L_c L_p - M^2}{L_c + L_p - 2 M} ; \\ L''_{\min} &= \frac{L_c L_p - M^2}{L_c + L_p} ; \\ \Delta L'' &= \frac{(L_c L_p - M^2) 4 M}{(L_c + L_p)^2 - 4 M^2} . \end{aligned} \quad (4)$$

Обозначив $m'' = L_c/L_p$, формулу (4) можно привести к виду

$$L'' = \frac{L_c (1 - K^2 \cos^2 \varphi)}{1 + m + 2 K \sqrt{m} \cos \varphi} \quad (5)$$

Анализ выражения (5) показывает, что максимальная вариация индуктивности варьометра $\Delta L''_{\max}$ и форма кривой изменения индуктивности от угла поворота зависят от соотношения между индуктивностями статора и ротора. Максимальное изменение индуктивности наблюдается при $m = 1/K^2$, при больших значениях кривая приобретает другорбый вид.

Угол φ_{\max} , соответствующий максимальному значению индуктивности, зависит от соотношения между индуктивностями ротора и статора:

$$\cos \varphi_{\max} = \frac{1}{K \sqrt{m}} \quad (6)$$

Как видно из формулы (6), при увеличении отношения индуктивностей статора и ротора угол поворота ротора, необходимый для получения максимальной вариации индуктивности, уменьшается, т. е. увеличивается плотность шкалы. Появление двух максимумов у кривой изменения индуктивности наблюдается при индуктивности статора большей, чем индуктивность ротора, и объясняется наличием уравнительного тока между катушками. При равенстве индуктивностей ротора и статора индуктивность варьометра изменяется по косинусоидальному закону

$$L'' = L_c \cdot 1/2 (1 + K \cos \varphi).$$

Коэффициент перекрытия по индуктивности имеет такое же значение, как и для варьометра с последовательным соединением обмоток.

Параллельное соединение катушек применяется для повышения резонансной частоты колебательного контура:

$$\dot{I}_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{L_c + L_p + 2M \cos \varphi}{C(L_c L_p - M^2 \cos^2 \varphi)}} \quad (7)$$

Анализ выражения (7) показывает, что при конструировании варнометров с переменной взаимной индуктивностью для увеличения коэффициента перекрытия необходимо увеличивать коэффициент связи между обмотками ротора и статора. Увеличения коэффициента связи между обмотками можно добиться выбором оптимальных размеров и формы катушки статора и ротора и уменьшением расстояния между ними.

Существуют три основные конструктивные разновидности варнометров с переменной взаимной индуктивностью, отличающиеся друг от друга формой катушек и конфигурацией витков:

цилиндрический, с намоткой витков по окружности цилиндра (витки имеют круглую форму, площадь всех витков одинакова);

рабочный, с витками, намотанными по образующей цилиндра (витки имеют прямоугольную форму, площадь витков одной и той же катушки разная);

шаровой, с намоткой витков по окружности шара (витки имеют круглую форму, площадь витков одной и той же катушки разная).

Конструкция шарового варнометра позволяет получить наибольший коэффициент связи между катушками ротора и статора, т. е. получить максимальное значение коэффициента перекрытия ($K_{L_{\max}} = 10 \dots 20$).

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Установка для исследования варнометров (рис. 15) включает измеритель индуктивности (ИИ); генератор сигналов (ГС); варнометр с переменной взаимной индуктивностью (ВПВИ); обусловленной изменением взаимного углового положения статорной и роторной катушек; ферровариметр (ФВ) и вариометр с немагнитным сердечником (ВНС), позволяющие изменять индуктивность путем перемещения сердечника относительно катушки; вариометр с переменным магнитным полем (ВПМП), обусловленным изменением тока I или напряжения U в его управляющей обмотке. Переключатель « U/I » (SA2) задает режим варьирования одного из параметров (например, U , если переключатель находится в верхнем положении) при неизменном втором параметре (в нашем случае I).

В режиме « U » на верхнюю клемму управляющей катушки ВПМП с выхода стабилизатора тока (СТ) поступает сигнал, уро-

вень которого по напряжению задается резистором R_1 . В этом случае при различных значениях напряжения на клеммах управляющей катушки ток в ней остается постоянным.

В режиме «I» на клеммы управляющей катушки ВПМП с выхода стабилизатора напряжения (СН) поступает сигнал, уровень которого по току задается резистором R_2 . В этом случае при различных значениях тока в управляющей катушке ВПМП напряжение на ее клеммах остается постоянным.

В обоих рассмотренных режимах исследования ВПМП измерение напряжения на клеммах управляющей катушки осуществляется с помощью вольтметра V , а измерение тока в управляющей катушке — с помощью амперметра A . Питание схемы происходит от источника постоянного напряжения (ИПН). Подключение необходимого варномера к измерителю индуктивности (ИИ) осуществляется с помощью переключателя SAI , имеющего 8 положений.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

До того как приступить к работе, следует ознакомиться с лабораторной установкой и приборами, необходимыми в ходе исследования.

1. Исследование варномера с переменной взаимной индуктивностью.

Установить переключатель SAI в положение «1». С помощью ИИ измерить L_c . Установить переключатель SAI в положение «2». С помощью ИИ измерить L_p . Установить SAI в положение «3». С помощью ИИ снять зависимость индуктивности ВПВИ L_1 , образованного путем последовательного соединения катушек ротора и статора, от угла поворота ротора. Установить переключатель SAI в положение «4». С помощью ИИ снять зависимость индуктивности ВПВИ L_2 , образованного путем параллельного соединения катушек ротора и статора, от угла поворота ротора. Установить переключатель SAI в положение «5». С помощью ИИ снять зависимость индуктивности L_3 ВПВИ (статора) при короткозамкнутом роторе от угла поворота ротора. Определить коэффициент перекрытия K_L для всех трех случаев соединения обмоток. Данные занести в таблицу.

Индуктивность	φ, град		
	0	180	360
L_1 , мкГн			
L_2 , мкГн			
L_3 , мкГн			

Построить графики $L = f(\varphi)$ при последовательном, параллельном соединении обмоток ротора и статора и при законченном роторе.

2. Исследование ферровариометра.

Установить переключатель $SA1$ в положение «6». С помощью ИИ снять зависимость индуктивности ФВ L_Φ от положения ферритового стержня внутри катушки. Результаты измерений представить в виде зависимости

l , мм	
L_Φ , мкГн	

Построить график зависимости $L_\Phi = f(l)$, определить индуктивности L_{\min} , L_{\max} и коэффициент перекрытия K_L .

3. Исследование вариометра с переменным магнитным полем.

Установить переключатель $SA1$ в положение «7», переключатель $SA2$ в положение «У». С помощью ИИ снять зависимость индуктивности ВПМП L_{M1} от значения питающего напряжения U_0 , которое изменять в пределах 0...50 В, при постоянном уровне тока в управляющей обмотке вариометра. Результаты измерений представить в виде зависимости

U_0 , В	
L_{M1} , мкГн	

Построить график зависимости $L_{M1} = f(U_0)$, определить индуктивности L_{\min} , L_{\max} и коэффициент перекрытия K_L .

Установить переключатель $SA1$ в положение «7», а переключатель $SA2$ в положение «I». С помощью ИИ снять зависимость индуктивности ВПМП L_{M2} от значения питающего тока I_0 , которое изменять в пределах 0...20 мА, при постоянном питающем напряжении на клеммах управляющей катушки. Результаты измерений представить в виде зависимости

$I_0, \text{ мА}$	
$L_{M2}, \text{ мкГн}$	

Построить график зависимости $L_{M2} = f(I_0)$, определить индуктивность L_{\min} , L_{\max} и коэффициент перекрытия K_L .

4. Исследование вариометра с немагнитным сердечником.

Установить переключатель SA1 в положение «8». С помощью ИИ свять зависимость индуктивности ФНС (L_{II}) от положения немагнитного стержня внутри катушки. Результаты измерений представить в виде зависимости

$l, \text{ мм}$	
$L_{II}, \text{ мкГн}$	

Построить график зависимости $L_{II} = f(l)$, определить индуктивности L_{\min} , L_{\max} и коэффициент перекрытия K_L .

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Конструкция и особенности применения вариометров.
3. Схема установки для исследования вариометров..
4. Теоретические и экспериментальные данные (таблицы и графики).
5. Выводы.
6. Контрольные вопросы.
7. Библиографический список.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется колебательным контуром? Чем обусловлены потери в нем?
2. Какими параметрами описывается колебательный контур с потерями?
3. Что такое вариометр? В чем его преимущества? Какова область применения?
4. Какие конструкции вариометров используются на практике?
5. Какие параметры характеризуют катушку индуктивности?
6. Докажите, что при последовательном соединении двух катушек при наличии взаимной индуктивности M между ними $L_{\text{экв посл}} = L_1 + L_2 \pm 2M$.

7. Докажите, что при параллельном соединении двух катушек со взаимной индуктивностью M между ними $L_{\text{экв пар}} = (L_1 \pm L_2 - M^2) / (L_1 + L_2 \pm 2M)$.

8. Почему индуктивность L отрицательной быть не может, а взаимная индуктивность M может?

9. Какими основными параметрами характеризуется варномер?

10. Как связаны между собой магнитная индукция B и напряженность магнитного поля H , обусловленные протеканием тока по проводнику?

11. Физический смысл магнитного потока?

12. Что является единицами измерения индуктивности L , магнитной индукции B , напряженности магнитного поля H и магнитного потока Φ ?

13. Что называется предельной статической петлей гистерезиса?

14. По какому признаку магнитные материалы делятся на магнитотвердые и магнитомягкие? Какова область применения тех и других?

15. Как изменяется индуктивность катушки при введении в нее немагнитного сердечника?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Жеребцов И. П. Электрические и магнитные цепи. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Энергоатомиздат, 1987. 256 с.

Преображенский А. А., Бишард Е. Г. Магнитные материалы и элементы. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1986. 351 с.

Русин Ю. С., Чепарухин А. М. Проектирование индуктивных элементов приборов. Л.: Машиностроение, 1984. 175 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИОМЕТРОВ

Составители: **Пиганов Михаил Николаевич,**
Шонин Геннадий Павлович

Редактор Е. Д. Антонова
Техн. редактор Г. А. Усачева
Корректор Л. Я. Чегодаева

Сдано в набор 18.01.91. Подписано в печать 25.03.91
Формат 60×84 1/16. Бумага оберточная.
Гарнитура литературная. Печать высокая.
Усл. печ. л. 1,2. Усл. кр.-отт. 1,3. Уч.-изд. л. 1,0.
Тираж 300 экз. Заказ 70. Бесплатно.

Куйбышевский ордена Трудового Красного Знамени
авиационный институт имени академика С. П. Королёва,
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Тип. ЭОЗ Куйбышевского авиационного института,
443001 Самара, ул. Ульяновская, 18.