

Урок 82. Стабилизация частоты колебаний автогенераторов

Стабильность частоты автогенераторов является одним из важнейших параметров, в значительной степени определяющих надежность и точность работы устройств промышленной электроники. Нестабильность частоты генерируемых колебаний зависит от изменений температуры, влажности, давления, от механических воздействий, колебаний напряжения питания, внешних электромагнитных полей и других дестабилизирующих факторов. Это воздействие проявляется в изменении емкостей конденсаторов, индуктивностей дросселей и сопротивлений резисторов, входящих в состав колебательных контуров и RC-цепей обратных связей. Стабильность частоты автогенераторов зависит также от паразитных емкостей и индуктивностей и их изменений, которые так или иначе влияют на частоту f_0 и которые необходимо учитывать при расчетах и настройке автогенераторов.

Влияние температуры сказывается на изменениях линейных размеров индуктивных катушек и конденсаторов. Так, с повышением температуры линейные размеры указанных элементов изменяются, что влечет за собой изменение емкости и индуктивности колебательного контура соответственно на ΔC и ΔL .

Относительное изменение емкости конденсатора $\Delta C/C$ при изменении температуры на 1°C называют температурным коэффициентом емкости (ТКС). Он может быть как положительным, так и отрицательным. Например, керамические конденсаторы выпускают с положительным ТКС порядка $(30 \div 50)10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ и с отрицательным ТКС $(30 \div 50)10^{-6} 1/^\circ\text{C}$. Относительное изменение индуктивности катушки $\Delta L/L$ при изменении температуры на 1°C называют температурным коэффициентом индуктивности (ТКЛ). У лучших по термостабильности катушек ТКЛ имеет значение $(50 \div 100)10^{-6} 1/^\circ\text{C}$. При изменении температуры изменяется и сопротивление резисторов. Относительное изменение сопротивления резистора $\Delta R/R$ при изменении температуры на 1°C называют температурным коэффициентом сопротивления (ТКР). Оно также может быть положительным и отрицательным. У линейных углеродистых резисторов широкого применения типов ВС и УЛИ ТКР отрицательный и имеет значение $10^{-3} \text{—} 10^{-5} 1/^\circ\text{C}$. Металлизированные резисторы широкого применения, например типа МЛТ, имеют положительный ТКР порядка $10^{-4} 1/^\circ\text{C}$.

Следует отметить также, что на нестабильность генерируемой частоты, вызванную изменением температуры, сильно влияют изменения параметров транзисторов. Нестабильность частоты автогенераторов оценивают коэффициентом относительной нестабильности $\Delta f/f_0$, где f_0 — рабочая (номинальная) частота автогенератора; Δf — отклонение частоты от рабочей.

Коэффициенты относительной нестабильности определяют по формулам:

$$\text{для LC-автогенераторов} \quad \frac{\Delta f}{f_0} = -\frac{1}{2} \left(\frac{\Delta L}{L_k} + \frac{\Delta C}{C_k} \right), \quad (7.8)$$

$$\text{для RC-автогенераторов} \quad \frac{\Delta f}{f_0} = -\left(\frac{\Delta C}{C} + \frac{\Delta R}{R} \right), \quad (7.9)$$

где ΔL , ΔC и ΔR — приращения соответственно индуктивностей катушек, емкостей конденсаторов и сопротивлений резисторов, вызванные воздействием дестабилизирующих факторов.

Для уменьшения нестабильности частоты используют различные способы стабилизации частоты. Различают параметрическую и кварцевую стабилизацию частоты.

Параметрическая стабилизация частоты сводится к ослаблению влияния внешних факторов на частоту генерируемых колебаний, а также к подбору элементов генератора, обеспечивающих минимальные изменения частоты. Для уменьшения влияния температуры на изменение емкости конденсаторов и сопротивления резисторов в автогенератор включают конденсаторы и резисторы с отрицательными и положительными ТКС и ТКР. Снижение воздействия температуры на индуктивность катушек достигается за счет применения специальных материалов для каркасов катушек. Для исключения влияния температуры на параметры транзисторов в отдельных случаях автогенераторы помещают в термостат.

Уменьшение влияния механических ударов и вибрации достигается применением массивных корпусов (шасси), на которых крепят детали автогенератора, амортизационных прокладок из губчатой резины, специальных подвесок и т. д. Печатный монтаж и использование проводов индуктивных катушек, вжигаемых в керамику, практически полностью устраняют влияние механических воздействий. Параметрическая стабилизация частоты позволяет снизить нестабильность до 10^{-5} .

Для уменьшения воздействия внешних электромагнитных полей автогенераторы обычно полностью экранируют. Применение стабилизаторов напряжения исключает влияние на частоту колебаний питающего напряжения.

Кварцевая стабилизация частоты заключается в применении кварцевых резонаторов, что дает очень низкую нестабильность частоты, обычно порядка 10^{-8} .

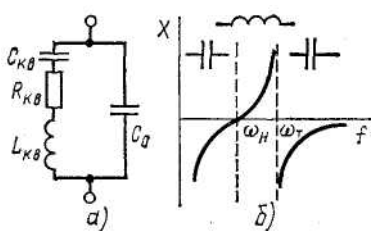


Рис. 1. Эквивалентная схема кварцевого резонатора (а), характер изменения сопротивления кварцевого резонатора в зависимости от частоты (б)

Кварцевый резонатор представляет собой тонкую пластину минерала (кварца или турмалина) прямоугольной либо круглой формы, установленную в кварцедержателе. Как известно, кварц обладает пьезоэффектом. При сжатии кварцевой пластины на противоположных ее гранях появляются разноименные электрические заряды, при растяжении пластины знаки зарядов на тех же гранях изменяются на обратные (прямой пьезоэффект). При воздействии на кварцевую пластину переменного электрического поля в ней возникают механические упругие колебания (обратный пьезоэффект), приводящие, в свою очередь, к появлению электрических зарядов на ее гранях. Таким образом, кристалл кварца (пластина) представляет собой электромеханическую систему, обладающую резонансными свойствами. В зависимости от геометрических

размеров и ориентации среза резонансные свойства (резонансная частота f_0) каждой пластины строго фиксированы и лежат в пределах от нескольких единиц килогерц до 1000 МГц.

Кварцевый резонатор эквивалентен электрическому колебательному контуру. Эквивалентная схема кварцевого резонатора изображена на рис. 1, а. Как видно, кварц эквивалентен последовательно включенным элементам L_{KB} , R_{KB}

и C_{KB} , а в такой цепи может быть резонанс напряжения с частотой $\omega_H = \frac{1}{\sqrt{L_{KB}C_{KB}}}$. Индуктивность кварца L_{KB}

может быть значительной — от десятков микрогенри до нескольких миллигенри. Емкость кварца C_{KB} мала (сотые доли пикофарад). Кварцевый резонатор обладает острым резонансом, что свидетельствует о небольшом сопротивлении R_{KB} , порядка единиц Ом. Поэтому добротность кварца достигает 10^5 — 10^6 , т. е. она на два-три порядка больше добротности контуров, выполненных на дискретных элементах — индуктивной катушке и конденсаторе.

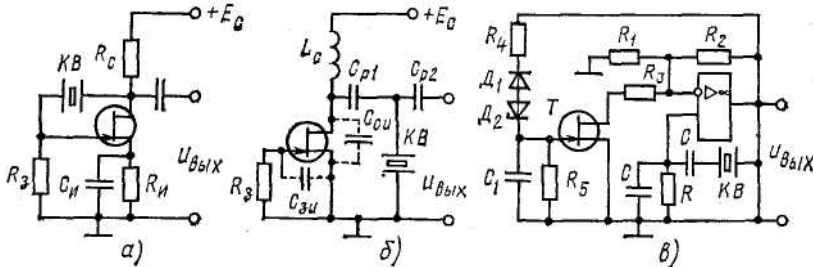


Рис. 2. Автогенератор с кварцевой стабилизацией: а — включение кварцевого резонатора как последовательного колебательного контура; б — включение кварцевого резонатора как индуктивного элемента; в — включение кварцевого резонатора в мост Вина в режиме резонанса напряжений

Так как кристалл кварца помещают в кварцедержатель, который обладает емкостью C_0 , равной нескольким десяткам пикофарад, то в кварцевом резонаторе возможен и резонанс токов с

частотой $\omega_T = \frac{1}{\sqrt{L_{ЭК}C_{ЭК}}}$, где $C_{ЭК} = \frac{C_0C_{KB}}{C_0 + C_{KB}}$. При этом $\omega_T > \omega_H$ частоты ω_T и ω_H мало отличаются друг от

друга, так как $C_0 \gg C_{KB}$, поэтому $C_{ЭК} \approx C_{KB}$.

На частотах ниже ω_H и выше ω_T эквивалентное сопротивление кварцевого резонатора носит емкостный характер (рис. 1, б), а на частотах выше ω_H и ниже ω_T — индуктивный характер. Частотные свойства кварцевого резонатора обуславливают его различное включение в автогенератор. Кварцевый резонатор можно включать в цепь положительной обратной связи как последовательный (колебательный) контур (рис. 2, а) или в трехточечный автогенератор как индуктивный элемент ветви колебательного контура (рис. 2, б).

Температурная нестабильность кварцевого резонатора очень мала — у некоторых кристаллов она имеет значение 10^{-8} .

В схеме рис. 2, б кварц включен как индуктивный элемент. Вместе с межэлектродными емкостями $C_{СИ}$ и $C_{ЗИ}$ рассматриваемый автогенератор представляет собой емкостную трехточку, что видно из его схемы.

На рис. 2, в изображена схема автогенератора RC-типа на ОУ с мостом Вина, в котором вместо одного из резисторов включен кварцевый резонатор, работающий в режиме резонанса напряжений. Такой автогенератор является эталонным генератором и применяется в прецизионных измерительных системах.

Для равенства резонансной частоты кристалла кварца и квазирезонансной частоты моста Вина сопротивление R резистора моста Вина подбирают равным резонансному активному сопротивлению кварцевого резонатора. Цепь отрицательной обратной связи, включенная между выходом и инвертирующим входом ОУ, компенсирует изменения резонансного активного сопротивления кварца в зависимости от температуры и тем самым поддерживает постоянными амплитуду и частоту выходного сигнала.

Кварцевую стабилизацию частоты обычно применяют в автогенераторах, работающих на фиксированных частотах (низкой и высокой), что является ее недостатком. Для получения стабильных колебаний звуковой и инфранизкой частот служат камертонные и магнитострикционные вибраторы, выполненные из специальных сплавов. В СВЧ-генераторах в качестве стабилизирующих контуров применяют устройства, называемые полыми резонаторами, с добротностью 10^4 - 10^5 .

Рассмотренные кварцевые автогенераторы являются простейшими. Современный кварцевый автогенератор с высокой стабильностью частоты представляет собой довольно сложное устройство, содержащее стабилизаторы напряжения питания, а также такие элементы параметрической стабилизации, как амортизаторы и влагозащитные устройства.

Контрольные вопросы:

1. Расскажите о причинах нестабильности частоты, генерируемой автогенераторами.
2. Расскажите о способах параметрической стабилизации частоты.
3. Расскажите об устройстве и принципе работы кварцевого резонатора.
4. Нарисуйте схему включения кварцевого резонатора как последовательного колебательного контура. Поясните принцип ее работы.
5. Нарисуйте схему включения кварцевого резонатора как параллельного колебательного контура. Поясните принцип ее работы.
6. Нарисуйте схему включения кварцевого резонатора в мост Вина в режиме резонанса напряжений. Поясните принцип ее работы.