

ИНДУКТИВНЫЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР КАК ВОЗБУДИТЕЛЬ РЕЗОНАНСНОГО КОНТУРА БЕТАТРОНА

В. М. ВЫСОЦКАЯ

(Представлено научным семинаром физико-технического факультета)

В области физических наук в последние годы получили широкое распространение индуктивные ускорители заряженных частиц—бетатроны, дающие в руки советских исследователей мощное средство для получения электронов больших энергий.

Эффективность использования ускорительных установок в значительной степени зависит от частоты питающего их переменного тока. Наилучшее использование установки можно получить, если снабдить ее специальным генератором с соответствующей данной установке частотой переменного тока.

Известно, что силовая цепь электромагнита бетатрона представляет собой резонансный контур. Активная мощность, потребляемая контуром, обусловленная потерями в обмотке электромагнита, в стали магнитопровода и в батарее конденсаторов, составляет не более 5% от реактивной мощности контура. Следовательно, электромагнит бетатрона практически потребляет только реактивную мощность.

Для компенсации реактивной мощности в цепь питания электромагнита включается соответствующая емкость. Батарея конденсаторов и намагничивающая обмотка образуют колебательный контур, настроенный в резонанс на частоте питающего электромагнит переменного тока.

Проведенные нами исследования [2] показали, что удобным и экономически выгодным является возбуждение резонансного контура электромагнита бетатрона по системе индуктивного параметрического генератора, для чего в резонансный контур обмотки электромагнита бетатрона достаточно включить переменную индуктивность, которая выполняет роль возбуждающего генератора.

Электрическая схема параметрического генератора индуктивного типа показана на рис. 1. Здесь L_0 — параметрический генератор, представляющий

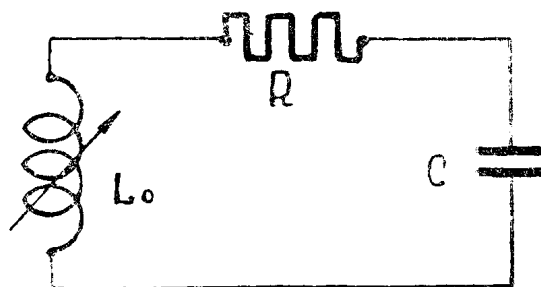


Рис. 1

собой переменную индуктивность. В цепь параметрического генератора, кроме активного сопротивления R , включается постоянная емкость C .

Одной из важнейших конструктивных особенностей такого генератора является отсутствие обмотки на роторе, что допускает применение больших окружных скоростей. В этом случае машины получаются с малой машинной постоянной C , т. е. с малым весом активных материалов на единицу мощности, и весьма простой конструкции. Значение этого важнейшего преимущества параметрического индуктивного генератора снижается наличием обязательной емкости в цепи генератора, необходимой для настройки контура в резонанс. Поэтому более выгодной для параметрических генераторов является область повышенных частот, так как при этом габариты и стоимость конденсаторов, необходимых для создания резонанса в контуре параметрического генератора, уменьшаются.

Главнейшим недостатком параметрических генераторов является низкий коэффициент мощности цепи. Кроме того, напряжение генератора меняется с изменением нагрузки, а при аварийном режиме в цепи нагрузки параметрический генератор полностью теряет возбуждение.

Перечисленные недостатки, а главным образом низкий коэффициент мощности, мешают применению параметрических генераторов для питания промышленных установок.

Но в некоторых специальных случаях, когда пониженный коэффициент мощности не имеет значения или является естественно неизбежным и для улучшения $\cos \varphi$ приходится применять конденсаторы, т. е. создавать резонансный контур, параметрические генераторы могут быть с успехом использованы, особенно на повышенной частоте, вследствие простоты их конструкции.

В этом случае условия работы параметрического генератора существенно отличаются от условий, имеющих место в обычных силовых установках.

Наличие готового резонансного контура, в котором параметрический генератор может быть применен как возбудитель контура, делает несущественным один из серьезных недостатков параметрических генераторов — пониженный коэффициент мощности. Наоборот, в такого рода установках, требующих реактивную энергию, желателен как можно меньший коэффициент мощности, так как при этом снижаются потери.

При вращении параметрического генератора в его цепи, которая является колебательным контуром, при известных условиях возникает и поддерживается переменный ток частоты вдвое меньшей, чем частота изменения параметра L . Для упрощения удобно сделать близкое к истине допущение, что переменная часть индуктивности параметрического генератора меняется по синусоидальному закону.

На рис. 2 показана кривая гармонического изменения индуктивности параметрического генератора. Здесь L_0 — среднее значение индуктивности, L_n — амплитуда ее переменной части. Как видно из рис. 2,

$$L = \frac{L_{max} + L_{min}}{2} \quad \text{и} \quad L_n = \frac{L_{max} - L_{min}}{2}.$$

Обозначим m_2 — глубину модуляции индуктивности параметрического генератора, т. е. относительное изменение его параметра L

$$m_2 = \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{max} + L_{min}} = \frac{2L_n}{2L_0}. \quad (1)$$

При включении в контур индуктивного параметрического генератора обмотки электромагнита бетатрона, являющейся в данном случае добавочной

(рабочей) индуктивностью $L_{раб}$ (рис. 3), коэффициент глубины модуляции всего контура m_k уменьшится, а именно:

$$m_k = \frac{(L_{2\ max} + L_{раб}) - (L_{2\ min} + L_{раб})}{(L_{2\ max} + L_{раб}) + (L_{2\ min} + L_{раб})} = \frac{L_{2\ max} - L_{2\ min}}{L_{2\ max} + L_{2\ min} + 2L_{раб}};$$

используя уравнение (1), найдем, что

$$m_k = \frac{2L_n}{2L_o + 2L_{раб}} = \frac{L_n}{L_o + L_{раб}}.$$

Взяв отношение коэффициента глубины модуляции параметрического генератора m_z к коэффициенту глубины модуляции всего его контура m_k , когда включена добавочная индуктивность $L_{раб}$, получим

$$\frac{m_z}{m_k} = \frac{2L_n(L_o + L_{раб})}{2L_o \cdot L_n} = \frac{L_o + L_{раб}}{L_o}. \quad (2)$$

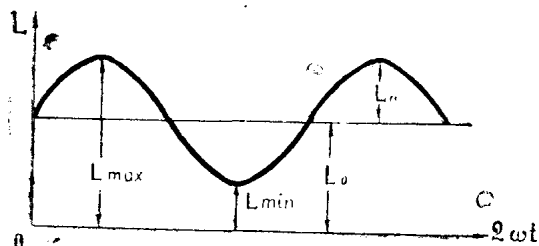


Рис. 2

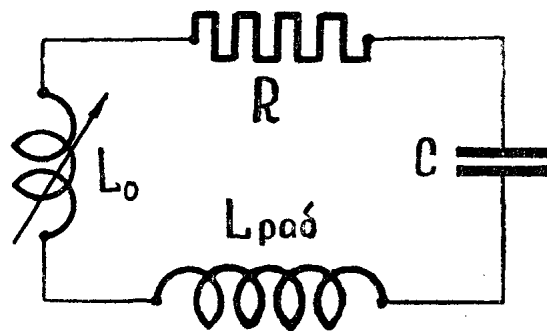


Рис. 3

Таким образом, $L_o = L_{раб} \cdot \frac{m_k}{m_z - m_k}$. Это уравнение (2) дает возмож-

ность определить необходимую индуктивность, которую должен иметь параметрический генератор при включении заданной рабочей индуктивности $L_{раб}$ с тем, чтобы при минимально допустимом значении m_k была сохранена возможность возбуждения его контура. Проведенные нами опыты показали, что если в контур параметрического генератора включена рабочая индуктивность $L_{раб}$, снижающая коэффициент глубины модуляции контура до величины $m_k = 0,12$, то параметрический генератор еще способен самовозбуждать свой рабочий контур. Если при возбужденном состоянии генератора плавно увеличивать рабочую индуктивность, то генератор продолжает работать и при $m_k = 0,1$, но после выключения и повторного включения не самовозбуждается. Чтобы иметь возможность возбуждать параметрический генератор и при $m_k = 0,1$, нами предложена электрическая схема соединения контура параметрического генератора (рис. 4), позволяющая с помощью рубильника p в момент включения параметрического генератора шунтировать рабочую индуктивность. При этом параметрический генератор легко самовозбуждается, после чего шунтирующий проводник размыкается и параметрический генератор продолжает работать, так как указанная схема позволяет сохранить условия резонанса при изменении параметров контура.

Понятно, что для возбуждения контура с индуктивностью $L = L_o + L_{раб}$ требуемая из условий резонанса емкость будет меньше.

Разница между значениями $m_k = 0,1$ и $m_k = 0,12$ имеет существенное значение, так как в случае $m_k = 0,1$ имеется возможность возбуждать ра-

бочий контур параметрического генератора с общей индуктивностью на 20% большей, чем в случае $m_k = 0,12$.

Проведенные нами исследования [2] показали, что целесообразно строить параметрические генераторы индуктивного типа с коэффициентом глубины модуляции m_2 не более 0,5. Ранее указывалось, что наименьшее значение коэффициента глубины модуляции m_k , при котором еще возможно возбудить рабочий контур параметрического генератора, составляет 0,1 или 10%.

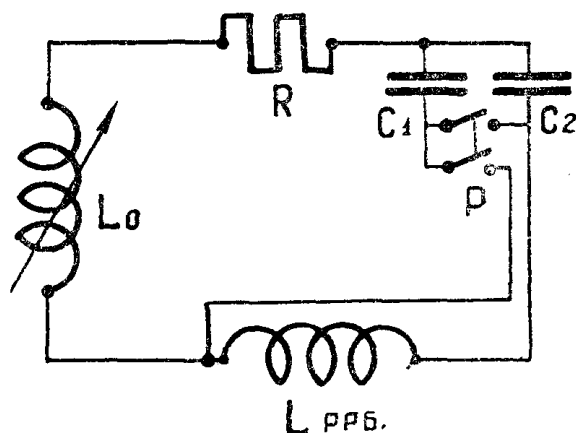


Рис. 4

Отношение индуктивности параметрического генератора L_0 к рабочей индуктивности $L_{раб}$ для граничных условий, т. е. для $m_2 = 0,5$ и $m_k = 0,1$, будет равно:

$$\frac{L_0}{L_{раб}} = \frac{m_k}{m_2 - m_k} = \frac{0,1}{0,5 - 0,1} = 0,25.$$

Следовательно, при указанных условиях индуктивность параметрического генератора L_0 составляет 25% от рабочей индуктивности $L_{раб}$.

Таким образом, номинальная кажущаяся мощность параметрического генератора при условии обеспечения устойчивой работы его должна составлять 25% от реактивной мощности, потребляемой рабочей индуктивностью, т. е. 25% от реактивной мощности электромагнита бетатрона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мандельштам Л. И. и Папалекси Н. Д. О параметрическом возбуждении. ЖТФ. Т. 4, 1934.
2. Высоцкая В. М. Разработка и исследование параметрического генератора с целью применения его для питания обмотки электромагнита бетатрона. Кандидатская диссертация, ТПИ, 1953.