

УДК 621.313

ВИБРАЦИОННЫЙ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОР

Чашко М.В., к.т.н., доц.

Донецкий национальный технический университет

83000, г. Донецк, ул. Артема, 58

E-mail: [mark@pautina.dn.ua](mailto:mark@pautina.dn.ua)

Доведені енергетичні параметри перетворення механічної енергії в електричну вібрацією.

**Ключові слова:** вібраційний генератор, електромеханічне перетворення енергії.

Power parameters of transformation of mechanical energy in electric are submitted by vibration are submitted.

**Key words:** the vibrating generator, electromechanical transformation of energy.

**Введение.** Работа посвящена преобразованию механической энергии в электрическую изменением сопротивления магнитному потоку.

Актуальность обусловлена возможностью повысить мощность в единице объема электрогенератора по сравнению с традиционными преобразователями.

В настоящее время механическая энергия преобразуется в электрическую перемещением проводника в магнитном поле (рис.1,а). При этом необходим воздушный зазор, достаточный для перемещения проводника без трения. Воздушный зазор обуславливает м.д.с., достаточную для создания необходимого магнитного потока. А м.д.с. предопределяет размеры генератора и потери в нем.

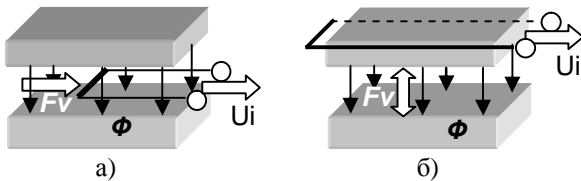


Рисунок 1 – Способы преобразования механической энергии в электрическую:

а) – традиционный; б) – изменением зазора магнитопровода

Представляется возможным другой способ преобразования. Механическая энергия в виде вибрации изменяет воздушный зазор, тем самым изменяя сопротивление магнитному потоку при неизменной м.д.с. (рис. 1, б). Поскольку перемещение происходит перпендикулярно плоскости зазора, избежать трения не приходится и воздушный зазор может быть как угодно малым. При этом м.д.с. имеет минимальное значение, соответственно, можно ожидать минимальные размеры и потери преобразователя.

**Цель работы** – оценить энергетические параметры способа генерации энергии изменением воздушного зазора.

**Материал и результаты исследования.** Для оценки параметров определяется значение напряжения на выходе генератора как функция амплитуды и частоты изменения воздушного зазора и тока нагрузки.

Исходные зависимости [1, с.15, 33, 445]

$$\Phi = (I_B + i_H) / R_M, \tag{1}$$

$$i_H = u / R_H \tag{2}$$

$$u = -d\Phi / dt, \tag{3}$$

$$R_M = x(t) / s\mu_0, \tag{4}$$

где  $\Phi$  – магнитный поток, Вб;  $I_B$  – магнитодвижущая сила возбуждения, А;  $i_H$  – ток нагрузки, А;  $R_M$  – сопротивление магнитному потоку,  $(\text{Ом}\cdot\text{с})^{-1}$ ;  $u$  – индуцированное напряжение, В/виток;  $R_H$  – сопротивление нагрузки, Ом;  $s$  – площадь воздушного зазора,  $\text{м}^2$ ;  $x$  – воздушный зазор, м;  $\mu_0$  – магнитная проницаемость воздуха, Гн/м.

Из этих формул следует [2, с. 453]

$$\frac{d\Phi}{dt} + R_M R_H \Phi = I_R H, \tag{5}$$

$$\Phi = \frac{I_B}{R_M} (1 - e^{-R_M R_H t}). \tag{6}$$

Среднее значение генерируемого напряжения определяется как разность между значениями магнитного потока, соответствующими максимальному и минимальному значениям зазора, разделенную на половину периода изменения. В результате

$$U = \frac{2I_B s \mu_0 f}{x_{\min} + \Delta_{\text{ВИБР}}} \left( 1 - e^{-\frac{x_{\min} + \Delta_{\text{ВИБР}} R_H}{2s\mu_0 f}} \right), \tag{7}$$

где  $U$  – напряжение, среднее за период, В;  $f$  – частота изменения зазора, Гц;  $x_{\min}$  – минимальное значение зазора, м;  $\Delta_{\text{ВИБР}}$  – разность между максимальным и минимальными значениями зазора, м.

Из формулы (7) видно, что напряжение пропорционально м.д.с. возбуждения  $I_B$ . Но пропорциональность имеет место, пока магнитопровод в насыщенном состоянии, индукция в нем  $B < I_B \mu_0 / x$ , так что наибольшего значения в функции м.д.с. возбуждения напряжение достигает при

$$I_{B \max} = B_{\max} x_{\min} / \mu_0,$$

где  $B_{\max}$  – индукция насыщения магнитопровода, Тл; Подстановкой этого значения м.д.с. в формулу (7) получается зависимость напряжения от индукции насыщения:

$$U = \frac{2B_{\max} x_{\min} s f}{x_{\min} + \Delta_{\text{вибр}}} \left( 1 - e^{-\frac{x_{\min} + \Delta_{\text{вибр}} R_H}{2s\mu_0 f}} \right). \tag{8}$$

На рис. 2 представлені залежності вихідного напруги  $U$ , В/виток, від току навантаження  $I=U/R_H$ , в ампервитках, при частотах змінення зазору 10 і 20 Гц і максимальній індукції 1 Тл.

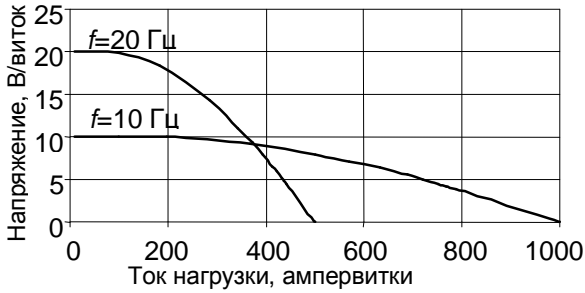


Рисунок 2 – Внешние характеристики генератора

Из графика видно, что при увеличении частоты увеличивается напряжение холостого хода и уменьшается ток короткого замыкания. Это обусловлено тем, что ток нагрузки существенно влияет на магнитный поток, препятствуя его изменению.

На рис. 3 представлена зависимость мощности, отдаваемой в нагрузку генератором, – при тех же условиях.

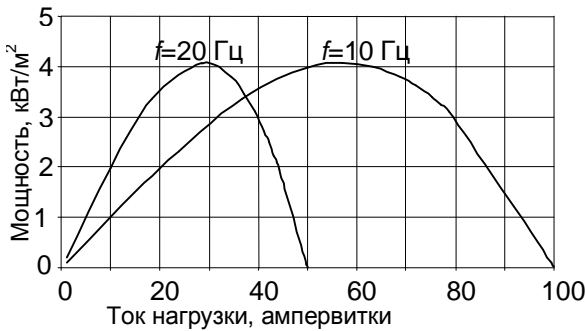


Рисунок 3 – Мощность генератора

Из графика видно, что максимум мощности от частоты не зависит, от нее зависит только ток нагрузки, при котором имеет место максимум. Это обусловлено предельным значением индукции магнитного потока, который проходит в зазоре.

Сравниваются мощности, которые можно получить генерацией вибрацией и генерацией традиционным образом – вращением проводящей рамки в магнитном поле. Мощность определяется как

$$P = U^2 / R_H .$$

На основании уравнения (8) мощность генерирования вибрацией

$$P_{ВИБ} = \frac{1}{R_H} \left( \frac{2I_B s \mu_0 f}{x_{min} + \Delta_{ВИБ}} \right)^2 \left( 1 - e^{-\frac{x_{min} + \Delta_{ВИБ}}{2s\mu_0 f} R_H} \right)^2 . \quad (9)$$

Мощность генерирования перемещением

$$P_{ПЕРЕМ} = \frac{1}{R_H} \left( \frac{2I_B s \mu_0 f}{\Delta_{ПЕРЕМ}} \right)^2 , \quad (10)$$

где  $\Delta_{ПЕРЕМ}$  – зазор, необходимый для перемещения проводника, м.

Отношение мощностей:

$$\frac{P_{ВИБ}}{P_{ПЕРЕМ}} = \left( \frac{\Delta_{ПЕРЕМ}}{x_{min} + \Delta_{ВИБ}} \right)^2 \left( 1 - e^{-\frac{x_{min} + \Delta_{ВИБ}}{2s\mu_0 f} R_H} \right)^2 . \quad (11)$$

Уравнение (11) трансцендентное, в общем виде его не разрешить, оценка производится в двух областях, где можно получить хорошее приближение.

1. При  $\frac{x_{min} + \Delta_{ВИБ}}{2s\mu_0 f} R_H \rightarrow \infty$  :

$$\frac{P_{ВИБ}}{P_{ПЕРЕМ}} \approx \left( \frac{\Delta_{ПЕРЕМ}}{x_{min} + \Delta_{ВИБ}} \right)^2 . \quad (12)$$

Порядок значений  $\Delta_{ПЕРЕМ} \approx 10^{-3}$  м,  $x_{min} + \Delta_{ВИБ} \approx 10^{-4}$  м, так что мощность вибрационного генератора больше приблизительно в 100 раз.

2. При  $\frac{x_{min} + \Delta_{ВИБ}}{2s\mu_0 f} R_H \rightarrow 0$  :

$$\frac{P_{ВИБ}}{P_{ПЕРЕМ}} \approx \left( \frac{\Delta_{ПЕРЕМ} \mu_0}{2s f (x_{min} B_{max})^2} P \right)^2 , \quad (13)$$

где  $P$  – генерируемая мощность, ВА.

После подстановки значений  $\Delta_{ПЕРЕМ} = 10^{-3}$ ,  $x_{min} = 10^{-4}$  м,  $\mu_0 = 10^{-6}$  Гн/м,  $s = 1$  м<sup>2</sup>,  $f = 50$  Гц,  $B = 1$  Тл:

$$\frac{P_{ВИБ}}{P_{ПЕРЕМ}} \approx (10^{-3} P)^2 . \quad (14)$$

Это выражение позволяет сделать ориентировочный вывод об области применения вибрационного генерирования электроэнергии: оно целесообразно, когда генерируемая мощность больше 1 кВт (при  $P = 10^3$  Вт  $P_{ВИБ}/P_{ПЕРЕМ} = 1$ ).

**Выводы.** Возможна генерация электроэнергии вибрацией, в результате которой периодически изменяется воздушный зазор в магнитопроводе с обмотками. Способ обеспечивает большую мощность в единице объема генератора при мощностях более 1 кВт.

Особенностью способа генерации является существенное снижение напряжения при увеличении тока нагрузки. Оно обусловлено тем, что ток нагрузки препятствует изменению магнитного потока, индуктирующему напряжению.

Потенциально генератор, реализующий описанный способ, является надежной машиной благодаря отсутствию подвижных контактов, в отличие от коллектора машины постоянного тока или синхронного генератора.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. – М.: «Высшая школа», 1996. – 638 с.
2. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. – М.: ГИФМЛ, 1962. – 608 с.

Стаття надійшла 8.04.2008 р.  
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.  
Родькіним Д.Й.