

Новый вид энергосберегающего электропривода.

E-mail : v.p.1963@internet.ru

Аннотация : Известны электроприводы переменного тока с управлением по возбуждению, содержащие цепи отрицательных обратных связей по скорости и производной потока. В таких приводах всегда при увеличении числа входящих в них элементов к.п.д. уменьшается пропорционально числу входящих в них звеньев. То есть, если к приводному двигателю подводится мощность $P_{el.} = I \times U$, то на валу приводного двигателя мощность будет равна:

$$P_{dr} = P_{el} \times k_{dr}, \quad \text{где}$$

k_{dr} - к.п.д. приводного двигателя.

От генератора будет отводиться мощность :

$$P_g = P_{el} \times k_{dr} \times k_g, \quad \text{где}$$

k_g - к. п. д. генератора.

Далее потребляемая мощность также будет уменьшаться по мере увеличения количества звеньев входящих в цепочку с другими потребители. Описанное ниже устройство относится к области электротехники, а именно к электроприводам с обратной связью по скорости. В приводе используется параллельный колебательный контур, в котором осуществляется резонанс тока. В этот параллельный колебательный контур встроены бесколлекторный якорь электродвигателя постоянного тока DCm, (который представляет собой два изолированных друг от друга диска униполярного электродвигателя). Они питаются от бесколлекторного якоря генератора G переменного тока выполненного по схеме синхронного генератора. Якорь генератора G и двигателя DCm находятся на одном валу, образуя единую систему, которая приводится в движение приводным двигателем DM. При резонансе тока в параллельном колебательном контуре полный ток в разветвленном участке цепи, где находится якорь двигателя DCm может во много раз превосходит активный ток в неразветвленном участке цепи, где находится якорь генератора G. При этом мощность, создаваемая полным током, будет преобразовываться в якоря DCm в полезную работу, так как в постоянном магнитном поле диска якоря DCm при полном токе (активный и реактивный) будет возникать сила Ампера приводящая диск во вращение.

Ключевые слова : потребляемая мощность, отдаваемая мощность, электропривод с параллельным резонансным контуром, система генератор - двигатель (G - DCm) на одном валу.

Известны электроприводы постоянного и переменного тока с управлением по возбуждению, содержащие цепи отрицательных обратных связей по скорости и производной потока. В таких приводах всегда при увеличении числа входящих в них элементов к.п.д. уменьшается пропорционально числу входящих в них звеньев. То есть, если к приводному двигателю подводится мощность $P_{el.} = I \times U$, то на валу приводного двигателя мощность будет равна:

$$P_{dr} = P_{el} \times k_{dr}, \text{ где}$$

k_{dr} - к.п.д. приводного двигателя.

От генератора будет отводиться мощность :

$$P_g = P_{el} \times k_{dr} \times k_g, \text{ где}$$

k_g - к. п. д. генератора.

Далее потребляемая мощность также будет уменьшаться по мере увеличения количества звеньев входящих в цепочку с другими потребителями. [1, 2]

Описанное ниже устройство относится к электроприводам с обратной связью по скорости. Техническим результатом его применения является экономия электроэнергии питающей приводной двигатель устройства. Электропривод содержит: тахогенератор ТГ с магнитным усилителем МА и цепи отрицательной обратной связи по скорости и производной потока ; приводной двигатель ДМ, который питается от источника питания PS ; энергосберегающее устройство G - DCm, которое содержит : синхронный генератор переменного тока G, якорная обмотка которого не имеет коллектора (потому что не имеет выхода напряжения и тока на внешнюю цепь) и напрямую соединена с параллельным колебательным контуром в который встроены якорь двигателя DCm. Якорь двигателя DCm работающий в режиме двигателя постоянного тока также не имеет коллектора и питается непосредственно от якоря генератора G . Якорь генератора G и якорь двигателя DCm расположены на одном валу. При одинаковой скорости вращения вала на котором они находятся , напряжение на якоре работающем в режиме генератора должно быть больше напряжения на якоре работающем в режиме двигателя в 1,5 - 2,5 раза. Механическая и электрическая схема привода показана на рисунке 1.

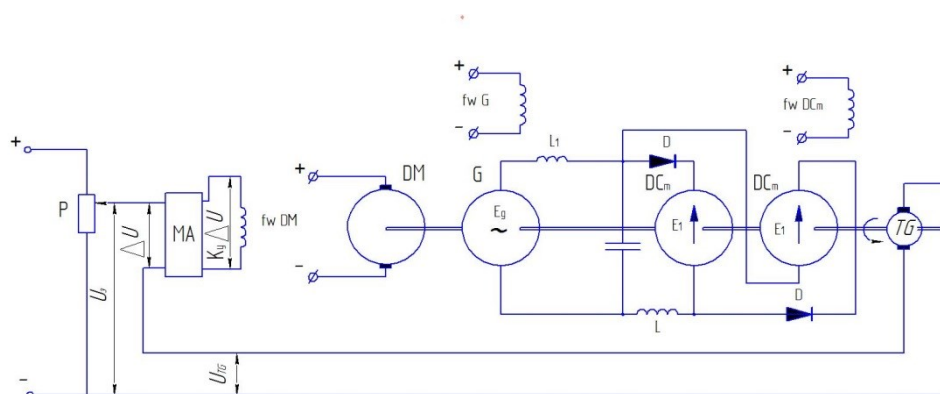


Рис. 1 Схема электропривода с параллельным резонансным контуром.

Тахогенератором постоянного тока измеряется фактическая частота вращения системы находящейся на одном валу. На входном сопротивлении усилителя МА задающее напряжение U_3 , которое является функцией заданной частоты вращения, сравнивается с напряжением тахогенератора U_{TG} , пропорциональным частоте вращения системы находящейся на одном валу. При отклонении частоты вращения системы находящейся на одном валу от заданной скорости, разность напряжений $\Delta U = U_3 - U_{TG}$, поступающая на усилитель изменяется. Напряжение $K_Y \times \Delta U$ с выхода усилителя поступает на обмотку управления магнитного усилителя, усиливается в k раз и подаётся на обмотку возбуждения приводного двигателя ДМ и обмотку возбуждения якоря работающего в режиме двигателя ДСм. Частота вращения двигателя ДМ и всей системы находящейся на общем валу будет изменяться так, что будет уменьшаться отклонение её значение от заданного значения.

Противо э.д.с. одного из дисков якоря работающего в режиме двигателя всегда направлена встречно э.д.с. якорю, работающему в режиме генератора. Диоды D препятствуют протеканию тока в направлении действия противо э.д.с. обмотки якоря работающей в режиме двигателя. Также из рисунка видно, что это схема с параллельным соединением в разветвлённой части цепи конденсатора и индуктивности, в которой компоненты схемы подбираются таким образом, что реализуется параллельный резонанс при работе схемы. В разветвлённой части цепи при резонансе токов, ток будет ограничен параллельным контуром, и можно подбором параметров цепи добиться, чтобы величина его во много раз превосходила ток в не разветвлённой части цепи. В этом случае в резонансном контуре, проходя через диски якоря, работающие в режиме электродвигателя постоянного тока активная и реактивная мощность будет выполнять полезную работу, т.к. в дисках будет возникать сила Ампера величина которой определяется величиной полного тока, и не зависит от того какой это ток активный или реактивный. Потеря энергии в контуре будет происходить только на активных сопротивлениях, которые будут иметь незначительную величину.

Работа системы происходит следующим образом. Приводной двигатель разгоняет систему якорь генератора G - якорь двигателя ДСм находящиеся на одном валу до скорости начала их работы. Как было выше сказано номиналы конденсатора C, индуктивности L, сопротивления R_2 подобраны таким образом, что при частоте работы якоря генератора G, в контуре цепи возникает резонанс токов с амплитудой колебаний тока в разветвлённой части цепи во много раз превышающей амплитуду колебаний в не разветвлённой части цепи. Если электрическая цепь содержит последовательно и параллельно соединённые реактивные элементы, в цепи могут возникнуть частные резонансы, когда входное напряжение и ток будут совпадать по фазе. В случае, если индуктивное сопротивление не разветвлённой части цепи будет скомпенсировано ёмкостным сопротивлением параллельного контура, будет наблюдаться резонанс напряжений в не разветвлённой части цепи. Это негативно скажется на работе привода. Поэтому индуктивное сопротивление обмотки якоря генератора G не разветвлённой части цепи должно быть скомпенсировано введением в не разветвлённую часть цепи ёмкостного сопротивления, и реактивная часть в не разветвлённой участке

цепи должна быть равна нулю. У якоря генератора должно быть только активное сопротивление. [3]

На рис.1 индуктивное сопротивление якоря генератора G и компенсирующая его ёмкостное сопротивление условно не показаны. Обозначим активное сопротивление якоря генератора через R_1 и рассмотрим схему с определением конкретных параметров цепи.

Воспользуемся для этого рисунком 2.

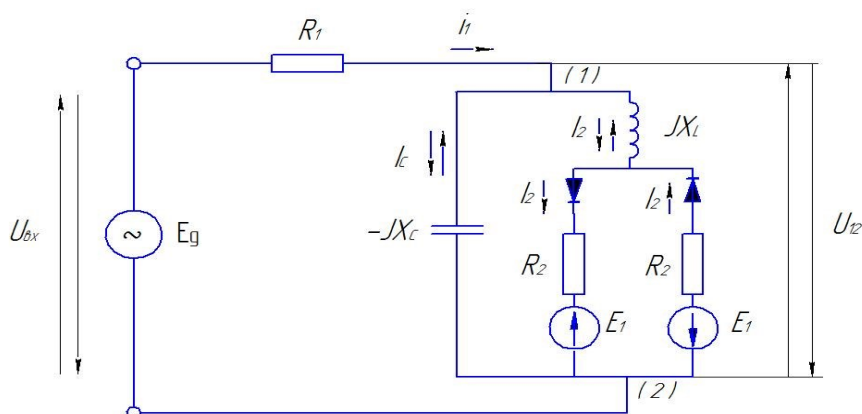


Рис. 2 Комплексная схема с параллельным резонансным контуром

Рассмотрим пример электрической схемы системы G - DCm на одном валу с параллельным резонансным контуром. Для комплексной схемы по имеющимся данным определим индуктивное сопротивление катушки X_L , сопротивление резистора R_2 , при которых в цепи будет наблюдаться явление резонанса. Определим добротность колебательного контура, комплексные токи в режиме резонанса и мощности отдаваемую якорем, работающим в режиме генератора E_g и потребляемую якорем, работающим в режиме двигателя E_1 . Примеры решений задач электрических цепей с параллельным контуром можно найти в книгах по теории цепей. [4, 5]

. Пусть $U_{вх} = 100$ В; $I_1 = 10$ А; $R_1 = 1$ Ом; $X_C = \frac{1}{2\pi f C} = 0,1$

$E_1 = E_2 = 50$ В, $f_{вх} = 50$ Гц

Решение. Схема на рис. 1 — работает при гармоническом входном воздействии. Важно обратить внимание на то, что в условии задачи заданы действующие значения входных напряжения и тока. Резонанс в схеме возникнет, когда входной ток и входное напряжение будут совпадать по фазе. Это произойдет, когда ёмкостная проводимость конденсатора будет скомпенсирована индуктивной проводимостью параллельной конденсатору ветви $R_2—L$ (резонанс токов). При этом резистор R_1 на фазовые характеристики параллельного контура влияния не оказывает, следовательно, условие резонанса токов в цепи, можно записать в виде $I_m[Z_{вх.конт}] = 0$, где $Y_{вх.конт}$ — комплексная проводимость резонансного контура $R_2—L—C$:

$$Y_{\text{вх. конт.}} = \frac{1}{-jX_C} + \frac{1}{R_2 + jX_C} = \frac{J}{X_C} + \frac{R_2}{R_2^2 + X_L^2} - \frac{X_L}{R_2^2 + X_L^2} j$$

Приравняем к нулю мнимую часть проводимости контура :

$$\frac{1}{X_C} - \frac{X_L}{R_2^2 + X_L^2} = \frac{1}{0,1} - \frac{X_L}{R_2^2 + X_L^2} = 0$$

В этом уравнении два неизвестных сопротивления: R_2 и X_C . Составим ещё одно уравнение по закону Ома :

$$\frac{U_{\text{вх}}}{I_{\text{вх}}} = Z_{\text{вх}} = R_1 + Z_{\text{вх.конт}} = R_1 + \frac{R_2^2 + X_L^2}{R_2}$$

Уравнение записано для комплексных тока и напряжения, а заданы только их действующие значения. То есть заданы длины векторов на комплексной плоскости, нет информации о фазовых сдвигах, не задан опорный сигнал, относительно которого определяются фазы. В этом случае за опорный сигнал можно принять любое напряжение или ток в цепи. Расчёт будет наиболее простым, если в качестве опорного сигнала взять входной ток ($\alpha = 0^\circ$). Тогда комплексное значение тока можно рассчитать:

$$I_{\text{вх}} = I_1 \times \cos 0^\circ + \sin 0^\circ = 10 \text{ A}$$

В режиме резонанса входное напряжение и ток совпадают по фазе. Тогда комплексное значение входного напряжения:

$$U_{\text{вх}} = U \times \cos 0^\circ + U \times \sin 0^\circ = 100 \text{ В}$$

Теперь система уравнений для расчета R_2 и X_L принимает вид:

$$\frac{1}{0,1} - \frac{X_L}{R_2^2 + X_L^2} = 0$$

$$\frac{100}{10} = R_1 + \frac{R_2^2 + X_L^2}{R_2} = 1 + \frac{R_2^2 + X_L^2}{R_2}$$

Решая систему, получим значения $R_2 \approx 0,00111$, $X_L \approx 0,1$

$$X_L = 2 \times \pi \times f \times L, \quad \rightarrow \quad L = \frac{X_L}{2 \times \pi \times f} = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 50} = 0,0003183 \text{ Гн}$$

$$X_C = \frac{1}{2 \pi f C} = 0,1 \quad \rightarrow \quad C = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times X_C} = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 50 \times 0,1} = 0,03183 \text{ Ф}$$

$$g_C = \frac{1}{X_C} = 10$$

Запишем входную проводимость резонансного контура в виде

$$Y_{\text{вх.конт.}} = g_{R_{\text{ЭКВ}}} = \frac{J}{X_C} + \frac{R_2}{R_2^2 + X_L^2} - \frac{X_L}{R_2^2 + X_L^2} j = \frac{J}{0,1} + \frac{0,00111}{0,01} - \frac{0,1}{0,01} j = 10j + 0,111 - 10j = 0,111$$

Рассчитаем добротность резонансного контура :

$$Q = \frac{g_C}{g_{R_{\text{экв.}}}} = \frac{10}{0,111} = 90,1, \text{ где}$$

g_C — модуль ёмкостной проводимости резонансного контура;

$g_{R_{\text{экв.}}}$ — модуль входной проводимости контура.

Для определения комплексных токов I_1 и I_2 рассчитаем напряжение U_{12}

(см. рис. 2) :

$$U_{12} = \frac{I_1}{Y_{\text{ВХ.конт.}}} - E_1 = 90 - 50 = 40 \text{ В}$$

Токи определим по закону Ома:

$$\dot{I}_2 = \frac{U_{12}}{R_2 + jX_L} = \frac{40}{0,00111 + 0,1j} = 4,44 + 400,1j$$

$$\dot{I}_C = \frac{U_{12}}{jX_C} = \frac{40}{-0,1j} = -400,1j$$

Полные токи в цепи :

$$I_2 = \sqrt{4,44^2 + 400,1^2} = 400,125 \text{ А}$$

$$I_C = \sqrt{0 + 400,1^2} = 400,1 \text{ А}$$

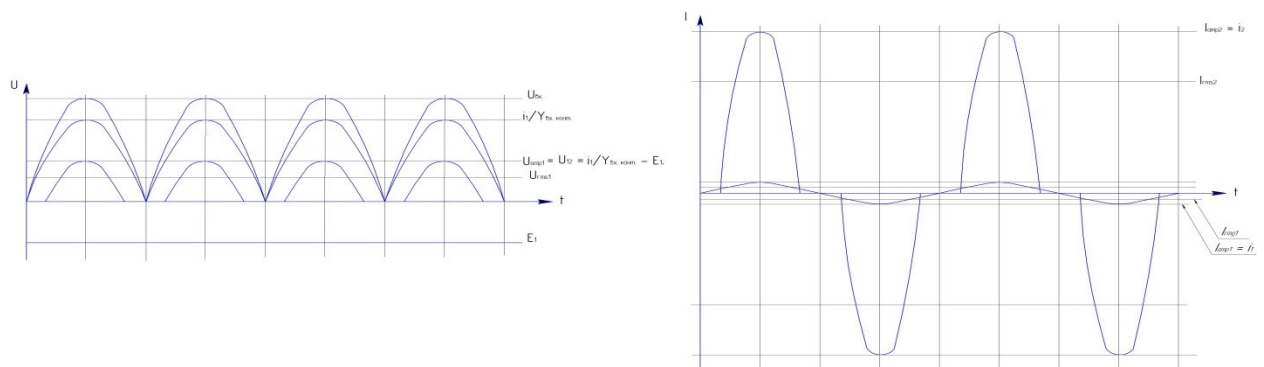


Рис. 3 Напряжения и токи в ветвях электропривода с параллельным резонансным контуром.

Мощность, отдаваемая генератором переменного тока в цепь с параллельным резонансным контуром с напряжением $U_{\text{ВХ}} = 100 \text{ В}$ и силой тока I_1 определяется формулой :

$$P_{\text{avg1}} = U_{\text{rms1}} \times I_{\text{rms1}}, \text{ где}$$

P_{avg1} — среднеарифметическое значение мощности якоря, работающего в режиме генератора G .

U_{rms1} — среднеквадратичное значение напряжения якоря, работающего в режиме генератора G.

I_{rms1} – среднеквадратичное значение тока якоря, работающего в режиме генератора G.
Среднеквадратичное значение напряжения якоря работающего в режиме генератора равно:

$$U_{rms1} = \frac{U_{amp1}}{\sqrt{2}} = \frac{100}{1,4142} = 70,7 \text{ А}, \text{ где}$$

U_{amp1} - амплитудное значение напряжения якоря, работающего в режиме генератора.
Среднеквадратичное значение тока якоря, работающего в режиме генератора равно:

$$I_{rms1} = \frac{I_{amp1}}{\sqrt{2}} = \frac{10}{1,4142} = 7,07 \text{ А}, \text{ где}$$

$I_{amp1} = I_1$ - амплитудное значение тока якоря, работающего в режиме генератора.
Мощность отдаваемая генератором переменного тока в цепь равна :

$$P_{avg1} = U_{rms1} \times I_{rms1} = 70,7 \times 7,07 = 500 \text{ Вт}$$

Мощность получаемая якорем работающим в режиме двигателя DCm с параллельным резонансным контуром, с суммарным напряжением на контуре $U_{12} = 40 \text{ В}$ и силой тока I_2 в контуре определяется формулой :

$$P_{avg2} = E_{rms1} \times I_{rms2}, \text{ где}$$

E_{rms1} - среднеквадратичное значение е.д.с якоря, работающего в режиме двигателя DCm.

I_{rms2} - среднеквадратичное значение тока проходящего через якорь, работающий в режиме двигателя DCm.

Среднеквадратичное значение напряжения якоря работающего в режиме двигателя равно:

$$E_{rms1} = \frac{E_{amp1}}{1} = \frac{50}{1} = 50 \text{ В}, \text{ где}$$

$E_{amp1} = E_1$ – амплитудное значение якоря, работающего в режиме двигателя DCm.

(В якоре двигателя DCm значение напряжения остаётся постоянным, равным E_1).

Среднеквадратичное значение тока якоря работающего в режиме двигателя равно:

$$I_{rms2} = \frac{I_{amp2}}{\sqrt{2}} = \frac{400,1}{1,4142} = 282,9 \text{ А}, \text{ где}$$

$I_{amp2} = I_2$ – амплитудное значение тока, проходящего через якорь, работающий в режиме двигателя DCm.

Мощность якоря работающего в режиме двигателя будет равна :

$$P_{avg2} = E_{rms1} \times I_{rms2} = 50 \times 282,9 = 14145 \text{ Вт}$$

Таким образом, согласно полученному примерному расчёту в системе генератор G - двигатель DCm на одном валу с параллельным контуром можно получить дополнительную мощность к потребляемой системой мощности.

Список литературы:

1. Е.В. Миллер « Основы теории электропривода» М. Высшая школа, 1968, стр. 241-246.
2. Чиликин, М.Г. Общий курс электропривода / М.Г. Чиликин, А.С.Сандлер. М. : Энергоиздат, 1981. – 576 с.
3. Атабеков Г. И. Линейные электрические цепи / Г. И. Атабеков. М.: Энергия, 1978 (2-е изд. СПб.: Лань, 2008).
4. Резонансные свойства RLC-цепей : [учеб.-метод. пособие] / Р345 [сост. В. Х. Осадченко, Я. Ю. Волкова, Ю. А. Кандрина]. — Екатеринбург: Изд-во Урал, ун-та, 2013. — 64 с.
5. Ключников О. И. Теоретические основы электротехники в 2 ч. Ч. 2. Электрические цепи однофазного синусоидального тока / О. И. Ключников, А. В. Степанов. Екатеринбург: Изд-во ГОУВПО «Рос. гос. проф.-пед. ун-т», 2007.96 с.