

Энергосберегающий электропривод

Аннотация : 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 $P_{эл.} = I \times U$, то на валу приводного двигателя мощность будет равна:

$$P_{пр} = P_{эл} \times K_{пр}, \text{ где}$$

$K_{пр}$ - к.п.д. приводного двигателя.

От генератора будет отводиться мощность :

$$P_{Г} = P_{эл} \times K_{пр} \times K_{Г}, \text{ где}$$

$K_{Г}$ - 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 встроен бесколлекторный якорь синхронного электродвигателя переменного тока DCm, который питается 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 активный ток в разветвлённом участке цепи, где находится якорь двигателя DCm может во много раз превосходит активный ток в неразветвлённом участке цепи, где находится якорь генератора G. Таким образом техническим результатом применения данного привода является экономия электроэнергии питающей приводной двигатель DM устройства.

Ключевые слова : потребляемая мощность, отдаваемая мощность, электропривод с параллельным резонансным контуром, система генератор - двигатель (G - DC m) 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 $P_{эл.} = I \times U$, то на валу приводного двигателя мощность будет равна:

$$P_{пр} = P_{эл} \times K_{пр}, \text{ где}$$

$K_{пр}$ - к.п.д. приводного двигателя.

От генератора будет отводиться мощность :

$$P_{Г} = P_{эл} \times K_{пр} \times K_{Г}, \text{ где}$$

$K_{Г}$ - 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. Техническим результатом его применения является экономия электроэнергии питающей приводной двигатель устройства. Электропривод содержит: тахогенератор TG с магнитным усилителем МА и цепи отрицательной обратной связи по скорости и производной потока ; приводной двигатель DM, 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 встроен якорь двигателя DCm. Якорь двигателя DCm работающий в режиме синхронного двигателя 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.

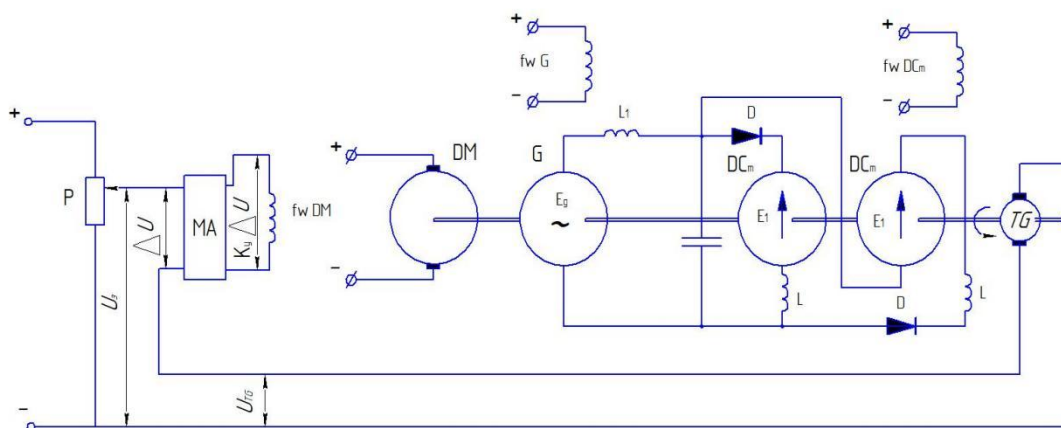


Рис. 1 Схема электропривода с параллельным резонансным контуром.

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 двигателя DM и обмотку возбуждения якоря работающего в режиме двигателя DCm. Частота вращения двигателя DM и всей системы находящейся на общем валу будет изменяться так, что будет уменьшаться отклонение её значение от заданного значения.

Противо э.д.с. якоря работающего в режиме двигателя 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.

Работа системы происходит следующим образом. Приводной двигатель разгоняет систему якорь генератора G - якорь двигателя DCm 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 неразветвлённой 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 неразветвлённой части цепи будет скомпенсировано ёмкостным сопротивлением параллельного контура, будет наблюдаться резонанс напряжений в неразветвлённой части цепи. Это негативно скажется на работе привода. Поэтому индуктивное сопротивление обмотки якоря генератора G неразветвлённой части цепи должно быть скомпенсировано введением в неразветвлённую часть цепи ёмкостного сопротивления, и реактивная часть в неразветвлённой участке цепи должна быть равна нулю. У якоря генератора должно быть только активное сопротивление.

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.

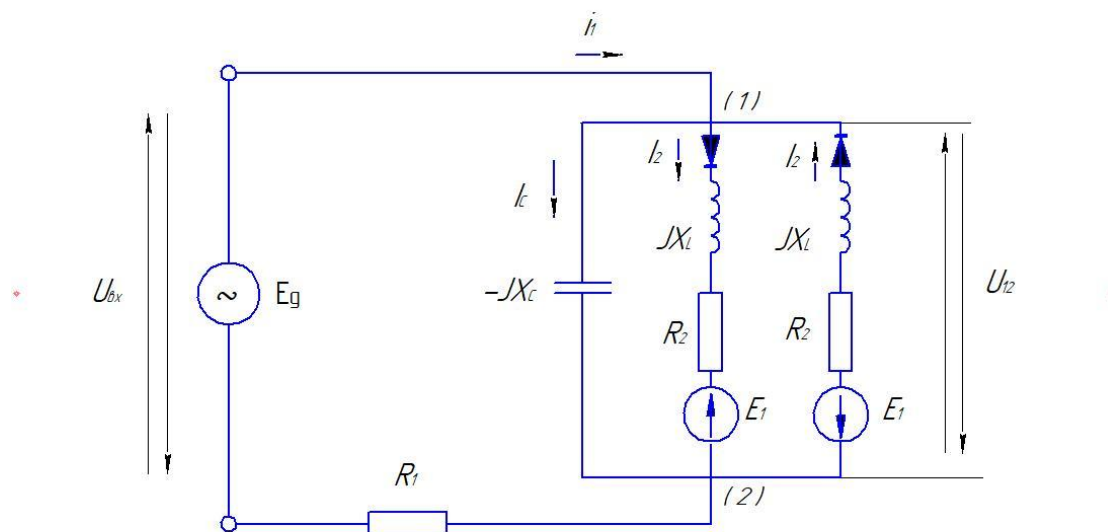


Рис. 2 Комплексная схема с параллельным резонансным контуром

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 генератором E_r и потребляемую двигателем E_1 .

Пусть $U_{BX} = 100 \text{ В}$; $i_1 = 10 \text{ А}$; $R_l = 1 \text{ Ом}$; $X_c = \frac{1}{2\pi f C} = 0,1$

$E_1 = E_2 = 50 \text{ В}$, $f_{BX} = 50 \text{ Гц}$

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_l на фазовые характеристики параллельного контура влияния не оказывает, следовательно, условие резонанса токов в цепи, можно записать в виде $I_m[Z_{BX \text{ конт}}] = 0$, где $Y_{BX \text{ конт}}$ — комплексная проводимость резонансного контура R_2-L-C :

$$Y_{BX. \text{ конт}} = \frac{1}{-jX_C} + \frac{1}{R_2 + jX_L} = \frac{1}{X_C} + \frac{R_2}{R_2^2 + X_L^2} - \frac{jX_L}{R_2^2 + X_L^2}$$

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_L . Составим еще одно уравнение по закону Ома :

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

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:

$$I_{BX} = i_1 \times \cos 0^\circ + i_1 \times \sin 0^\circ = 10 \text{ А}$$

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

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

Теперь система уравнений для расчета R_2 и X_L принимает вид:

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

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

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

$$X_L = 2 \times \pi \times f \times L, \quad \rightarrow \quad L = \frac{X_L}{2 \times \pi \times f} = \frac{0,1}{6,28 \times 50} = 0,0003183 \text{ Гн}$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = 0,1 \quad \rightarrow \quad C = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times X_C} = \frac{1}{6,28 \times 50 \times 0,1} = 0,03183 \text{ Ф}$$

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

Запишем входную проводимость резонансного контура в виде

$$Y_{BX. \text{ КОНТ}} = g_{R_{ЭКВ}} = \frac{J}{X_C} + \frac{R_2}{R_2^2 + X_L^2} - \frac{X_L}{R_2^2 + X_L^2} j = \frac{j}{0,1} +$$

$$\frac{0,00111}{0,01} - \frac{0,1}{0,01} j = 10J + 0,111 - 10J = 0,111$$

Рассчитаем добротность резонансного контура :

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

$g_C = \frac{1}{X_C}$ — модуль ёмкостной проводимости резонансного контура;

$g_{R_{ЭКВ}}$ — модуль входной проводимости контура.

Для определения комплексных токов i_2 и I рассчитаем напряжение U_{12} (см. рис. 2) :

$$U_{12} = \frac{i_1}{Y_{BX. \text{ КОНТ.}}} - E_{дв} = \frac{10}{0,111} - 50 = 90,1 - 50 = 40,1 \text{ В}$$

Токи определим по закону Ома:

$$i_2 = \frac{U_{12}}{R_2 + jX_L} = \frac{40,1}{0,00111 + 0,1j} = 396,6 - 40,1j$$

$$i_C = \frac{U_{12}}{-jX_C} = \frac{40,1}{-0,1j} = 40,1j$$

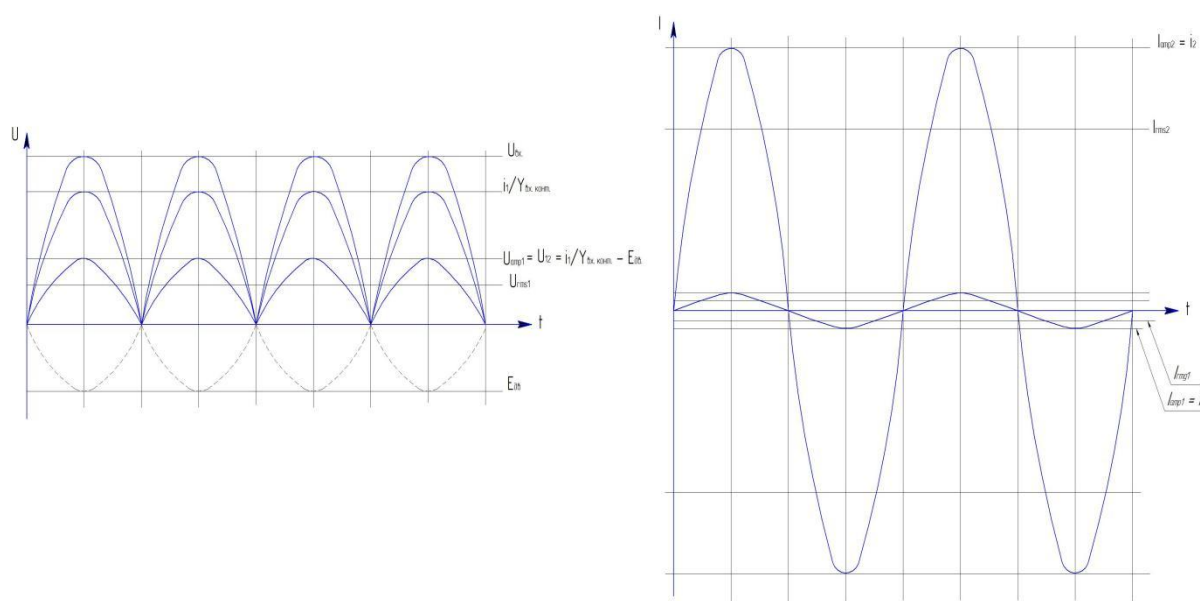


Рис. 3 Напряжения и токи в ветвях электропривода с параллельным резонансным контуром.

Мощность отдаваемая генератором переменного тока в цепь с параллельным резонансным контуром с напряжением $U_{BX} = 100$ В и силой тока i_1 определяется формулой :

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

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:

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

U_{amp1} - амплитудное значение напряжения якоря , работающего в режиме генератора.

Среднеквадратичное значение тока якоря, работающего в режиме генератора равно:

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

$I_{amp1} = i_1$ - 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 $U_{12} = 40,1 \text{ В}$ и силой тока i_2 в контуре определяется формулой :

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

U_{rms2} - суммарное среднеквадратичное напряжение между точками 1 и 2 параллельного контура в котором находится якорь, работающий в режиме двигателя DCm.

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

Среднеквадратичное значение напряжения между точками 1 и 2 равно:

$$U_{rms2} = \frac{U_{amp2}}{\sqrt{2}} = \frac{40,1}{1,4142} = 28,4 \text{ В , где}$$

$U_{amp2} = U_{12}$ — суммарное амплитудное напряжение между точками 1 и 2 параллельного контура , в котором находится якорь, работающий в режиме двигателя DCm.

$$I_{rms2} = \frac{I_{amp2}}{\sqrt{2}} = \frac{396,6}{1,4142} = 280,44 \text{ А , где}$$

$I_{amp2} = i_2$ — амплитудное значение тока, проходящего через якорь, работающий в режиме двигателя DCm.

Мощность якоря работающего в режиме двигателя будет равна :

$$P_{avg2} = U_{rms2} \times I_{rms2} = 28,4 \times 280,44 = 7964,5 \text{ Вт}$$

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 Атабеков Г. И. Теоретические основы электротехники. Ч. 1 : Линейные электрические цепи / Г. И. Атабеков. М.: Энергия, 1978 (2-е изд. СПб.: Лань, 2008).
- 3 Гусев В. Г. Электроника : учеб. пособие для вузов / В. Г. Гусев, Ю. М. Гусев. М. : Высш. шк., 1991. 622 с
- 4 Чиликин, М.Г. Общий курс электропривода / М.Г. Чиликин, А.С.Сандлер. М. : Энергоиздат, 1981. – 576 с.