

Расчёт резонансного контура и рекуперативной индуктивности для ИИП по топологии п/мост.

1. Коэффициент трансформации силового трансформатора (СТ):

$$K_{\text{ТР}} = U_1 / U_2$$

где:

U_1 — напряжение, подводимое к первичной обмотке СТ;

U_2 — напряжение на вторичной обмотке СТ.

2. Приведённый к первичной обмотке максимальный ток нагрузки:

$$I_1 = I_2 / K_{\text{ТР}}$$

где:

I_2 — максимальный ток нагрузки.

3. Отношение резонансной частоты контура к рабочей частоте преобразователя:

$$K_F = F_{\text{РЕЗ}} / F_{\text{ПР}}$$

где:

$F_{\text{РЕЗ}}$ — резонансная частота контура;

$F_{\text{ПР}}$ — рабочая частота преобразователя.

4. Амплитуда тока в контуре:

$$I_m = 1,57 \times I_1 \times K_F$$

5. Необходимое волновое сопротивление контура:

$$\rho = U_{\text{п}} / 2I_1$$

где:

$U_{\text{п}}$ — входное выпрямленное напряжение сети на ёмкостном накопителе.

6. Емкость конденсатора резонансного контура:

$$C_{\text{РЕЗ}} = 1 / (2\pi \times F_{\text{РЕЗ}} \times \rho)$$

7. Величина резонансной и рекуперативной индуктивностей:

$$L_{\text{РЕЗ}} = L_{\text{рек}} = \rho^2 \times C_{\text{РЕЗ}}$$

Примечание.

Единицы измерения: вольт, ампер, ом, герц...

Ниже приведён примерный расчёт элементов резонансного контура и рекуперативной индуктивности по топологии полумост рис. 1.

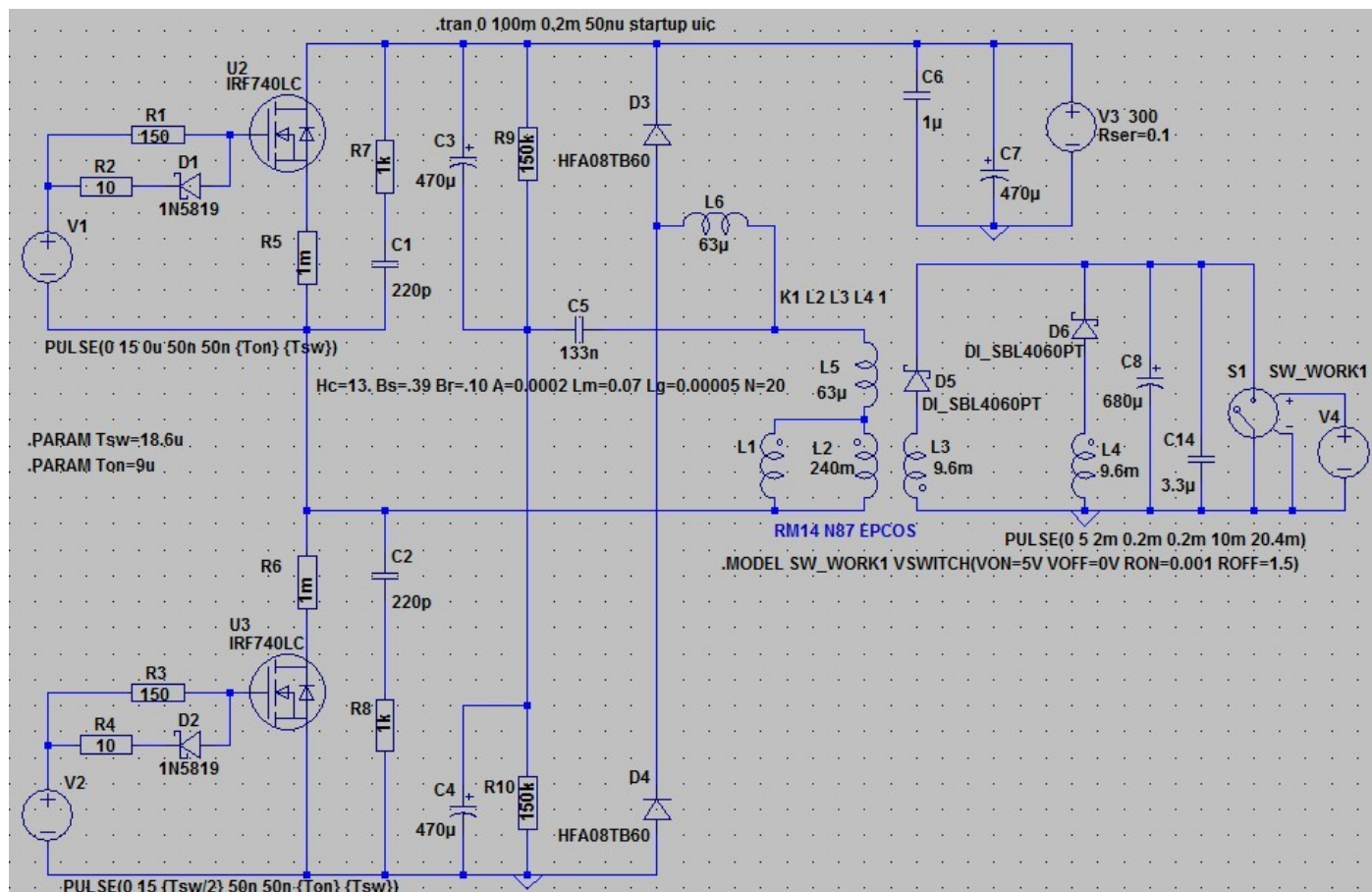
Напряжение питания (С6+С7) – 300В;

Напряжение на нагрузке (С8+С14) – 30В (без учёта падения напряжения на ключах, диодах, обмотках СТ и др.);

Ток нагрузки (S1) – 20А;

Частота преобразования – 50кГц;

Частота резонанса резонансного контура – 55кГц.



Мною не преследовалась цель показа методов расчёта параметров СТ и других компонентов, входящих в состав ИИП т.к. они известны. А посему, на рис.1 и в модели они приняты произвольно. Например, СТ выполнен на сердечнике RM14 №87 EPCOS. Количество витков первички подобрано (в симуляторе) таким образом, чтобы при напряжении питания 300В на XX сердечник не «влетал» в насыщение. Количество витков вторички выбрано из условий поставленной задачи:
 $150\text{В}/30\text{В}=20\text{вит}/4\text{вит}+4\text{вит}=5$.

Итак:

$$K_{тр}=150\text{В}/30\text{В}=5$$

$$F_{рез}/F_{пр}=55\text{кГц}/50\text{кГц}=1,1$$

$$I_m=1,57 \times 4 \times 1,1=6,9$$

$$\rho=150/6,9=21,739$$

$$C_{рез}=1/(6,28 \times 55 \times 21,8)=132,8\text{nF}$$

$$L_{рез}=L_{рек}=21,739^2 \times 132,8=62,759\mu\text{H}$$

На рис.1 модели:

Срез – C5;

Лрез – L5;

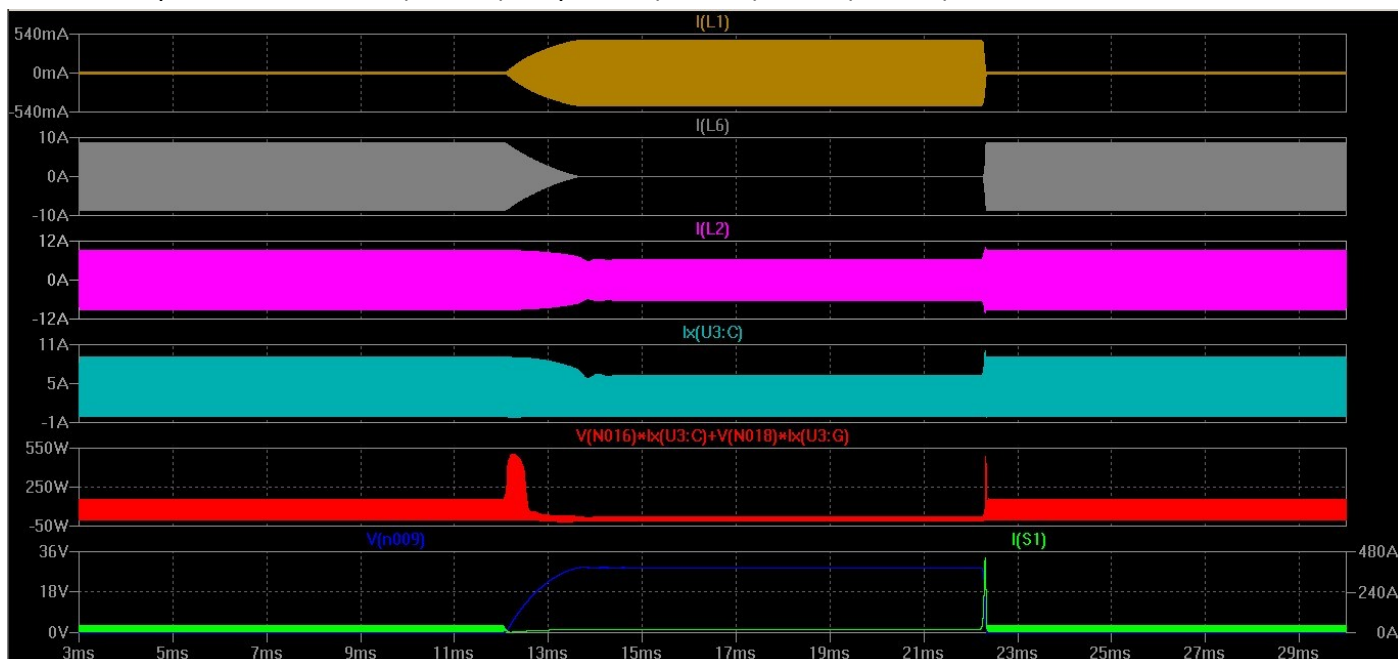
Лрек – L6.

Обращаю внимание, что в индуктивность Лрез (L5) входят индуктивность рассеивания СТ, индуктивность монтажа как на высокой (первичной), так и на низкой (вторичной) стороне (до выпрямителя).

Фильтрующая ёмкость после выпрямителя (выход) так же входит в эквивалентную схему замещения (естественно, приведенная к контуру через квадрат трансформации). Если фильтрующая емкость невелика, это обстоятельство необходимо учитывать при расчёте.

Ниже осцил. результатов моделирования в SwCad

1.Общая картинка. Режим КЗ(1 мОм) --> работа(1,5 Ом) --> КЗ(1мОм)

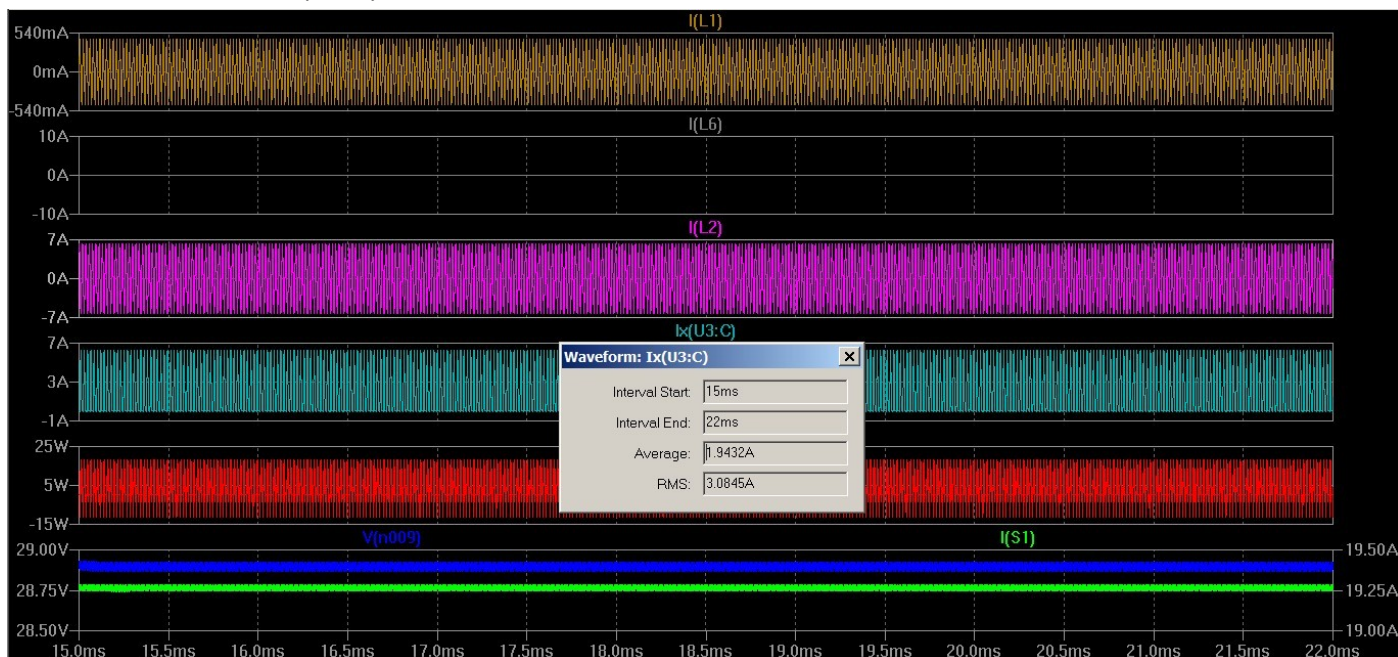


Сверху вниз:

- ток намагничивания;
- ток в рекуперативной индуктивности (L6);
- ток в первичной обмотке СТ;
- ток нижнего ключа;
- мощность, выделяемая на нижнем ключе;
- выходной ток (зелень) и напряжение (синь).

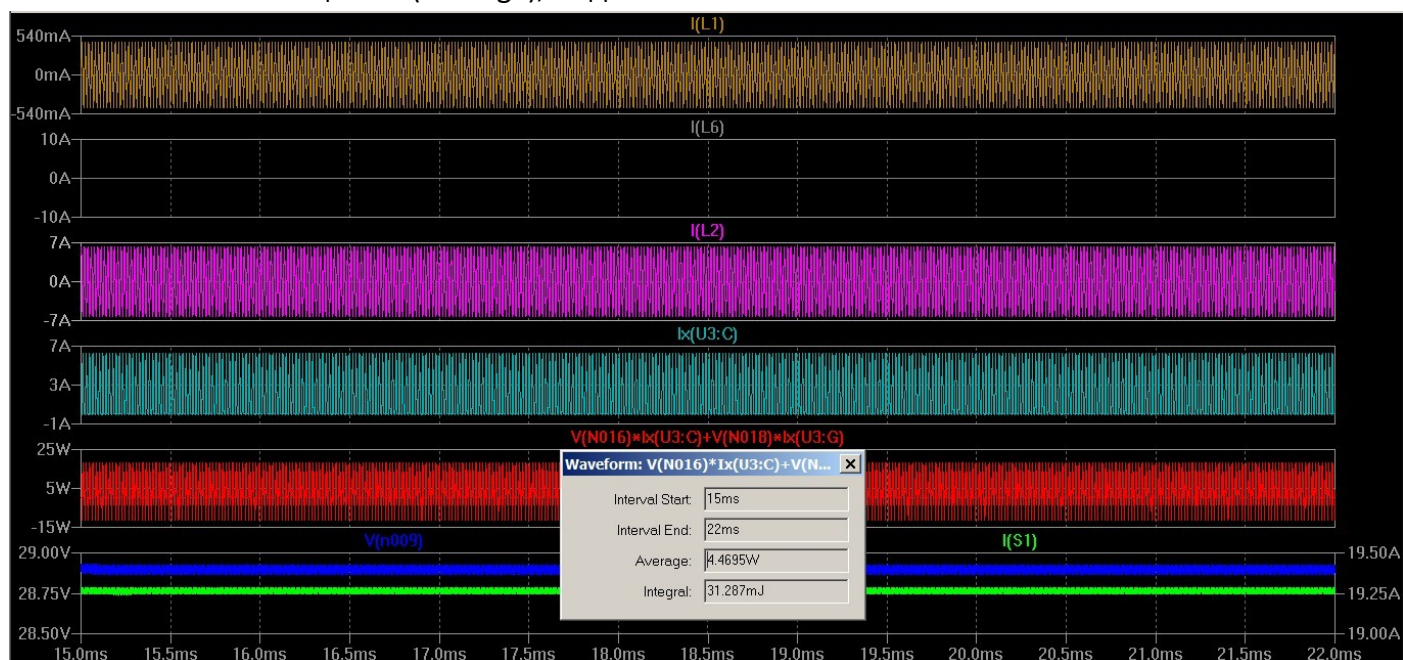
2.Режим работа (1,5 Ом). Порядок следования осцил. сохранён.

На пикке показан ток (RMS) нижнего ключа.



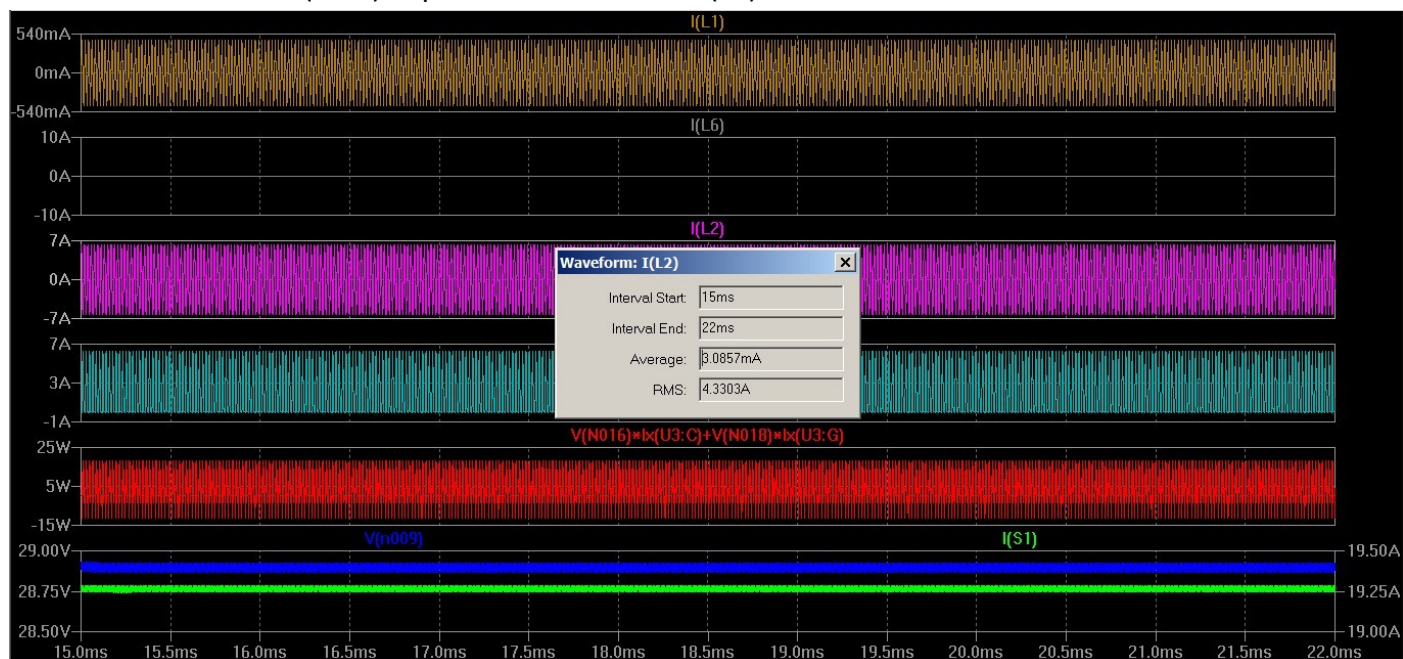
3.Режим работа (1,5 Ом). Порядок следования осцил. сохранён.

На пикке показана мощность (Average), выделяемая на нижнем ключе.



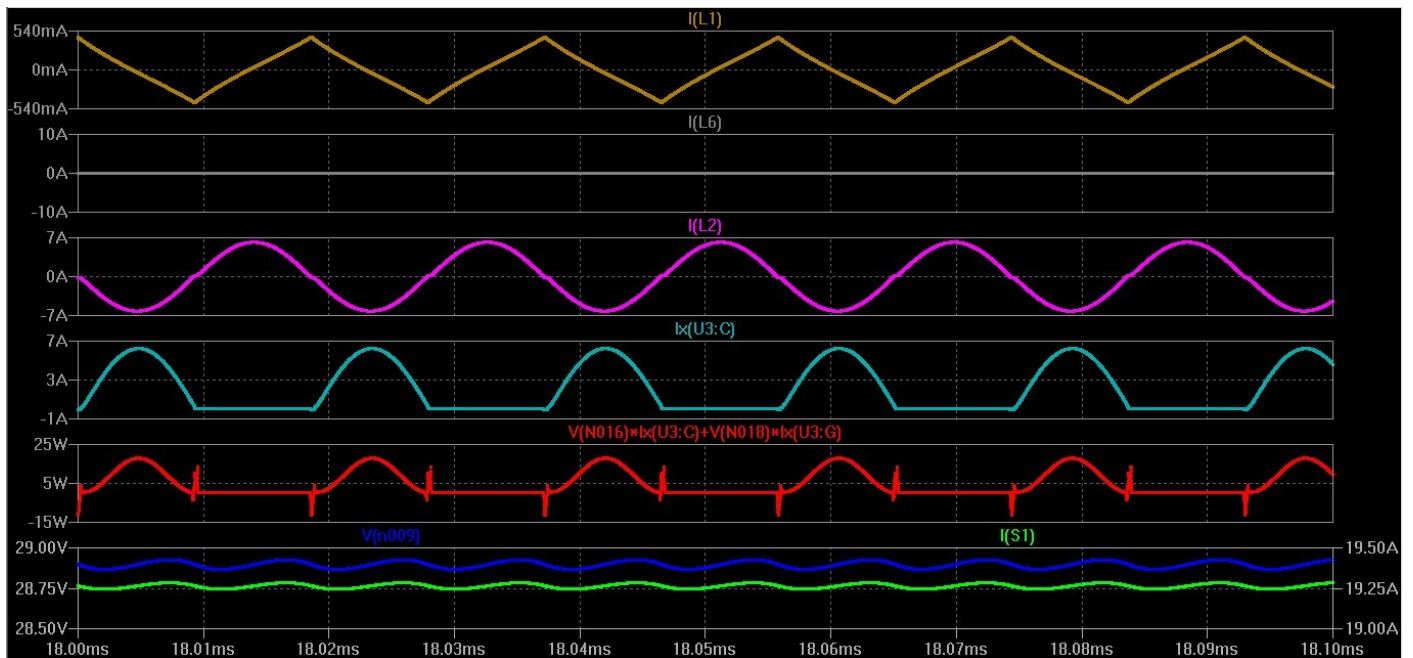
4.Режим работа (1,5 Ом). Порядок следования осцил. сохранён.

На пикке показан ток (RMS) первичной обмотки СТ (L2).

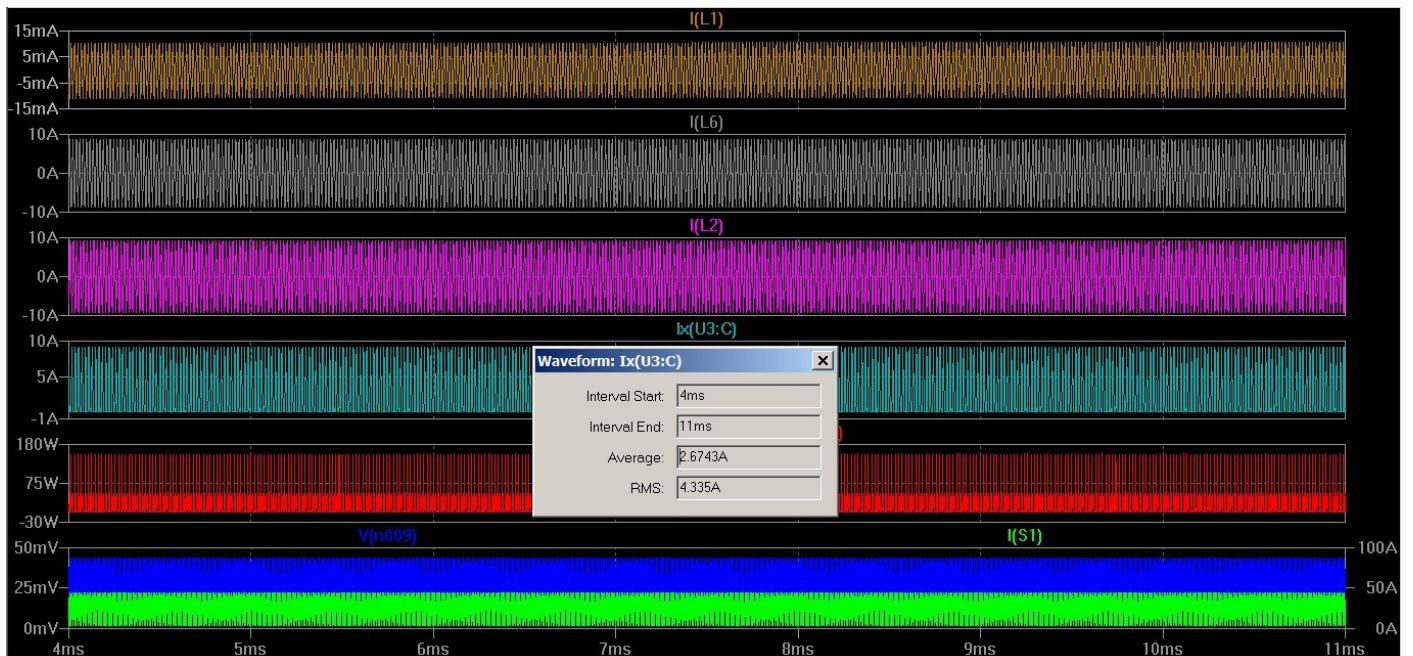


5.Режим работа (1,5 Ом). Порядок следования осцил. сохранён.

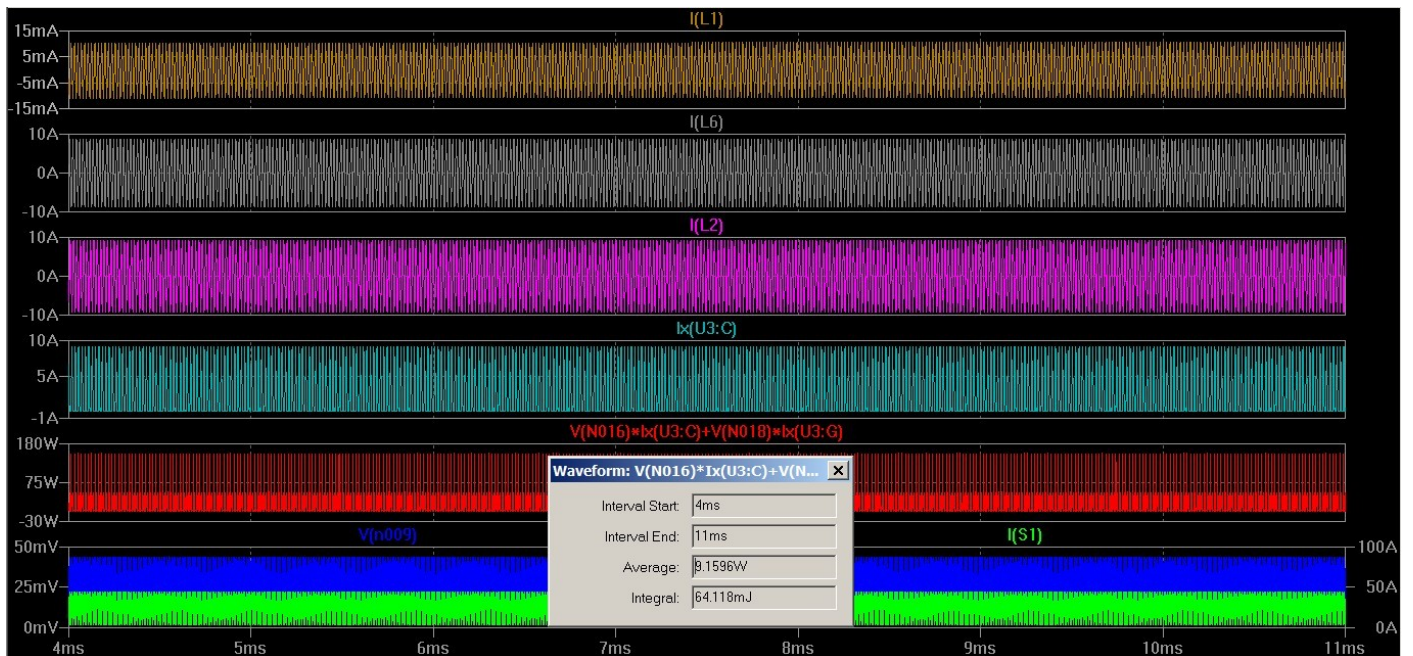
Для наглядности растянуто.



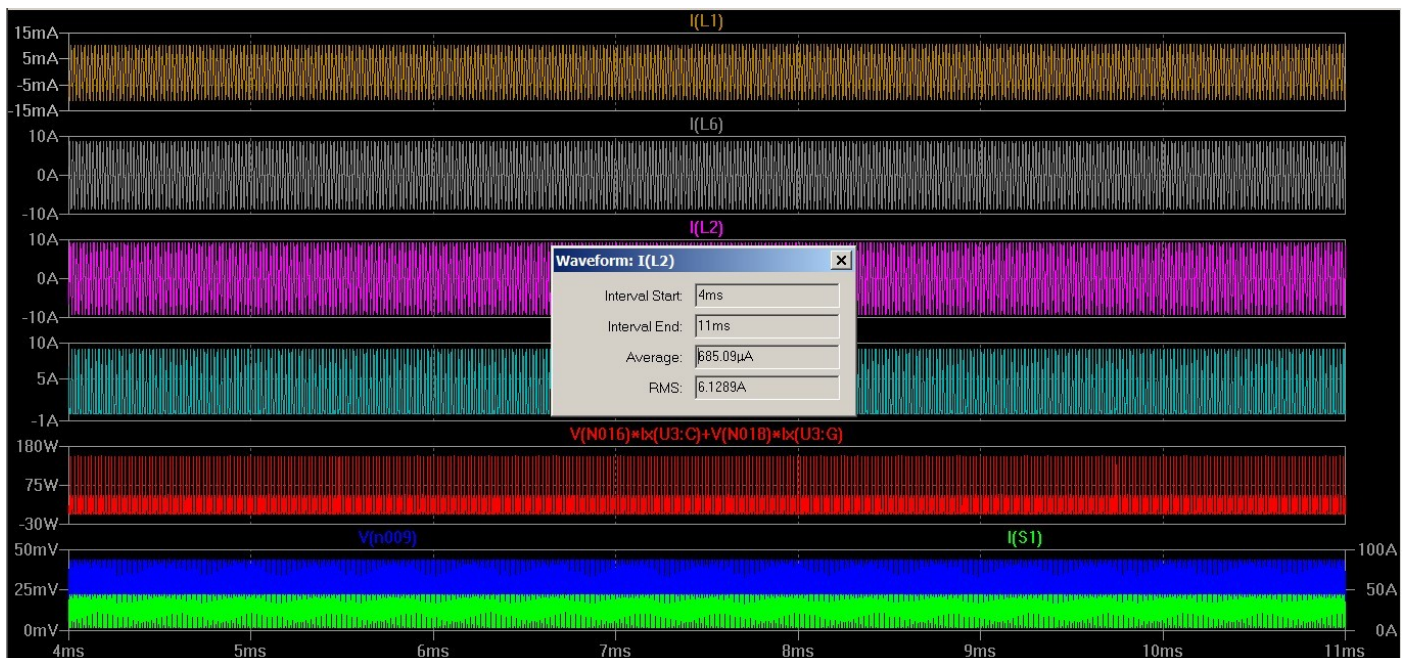
6. Режим короткого замыкания на выходе (1 мОм). Порядок следования осцил. сохранён. На пикче показан ток (RMS) нижнего ключа.



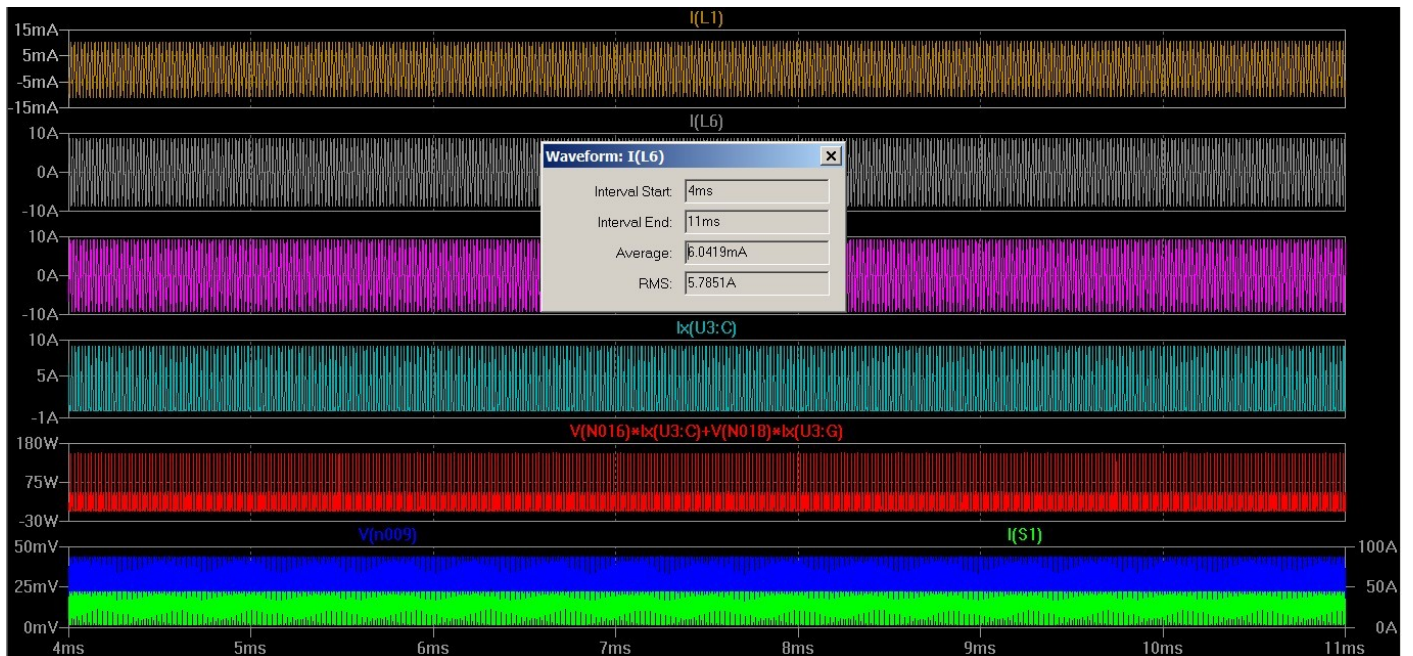
7. Режим короткого замыкания на выходе (1 мОм). Порядок следования осцил. сохранён. На пикче показана мощность (Average), выделяемая на нижнем ключе.



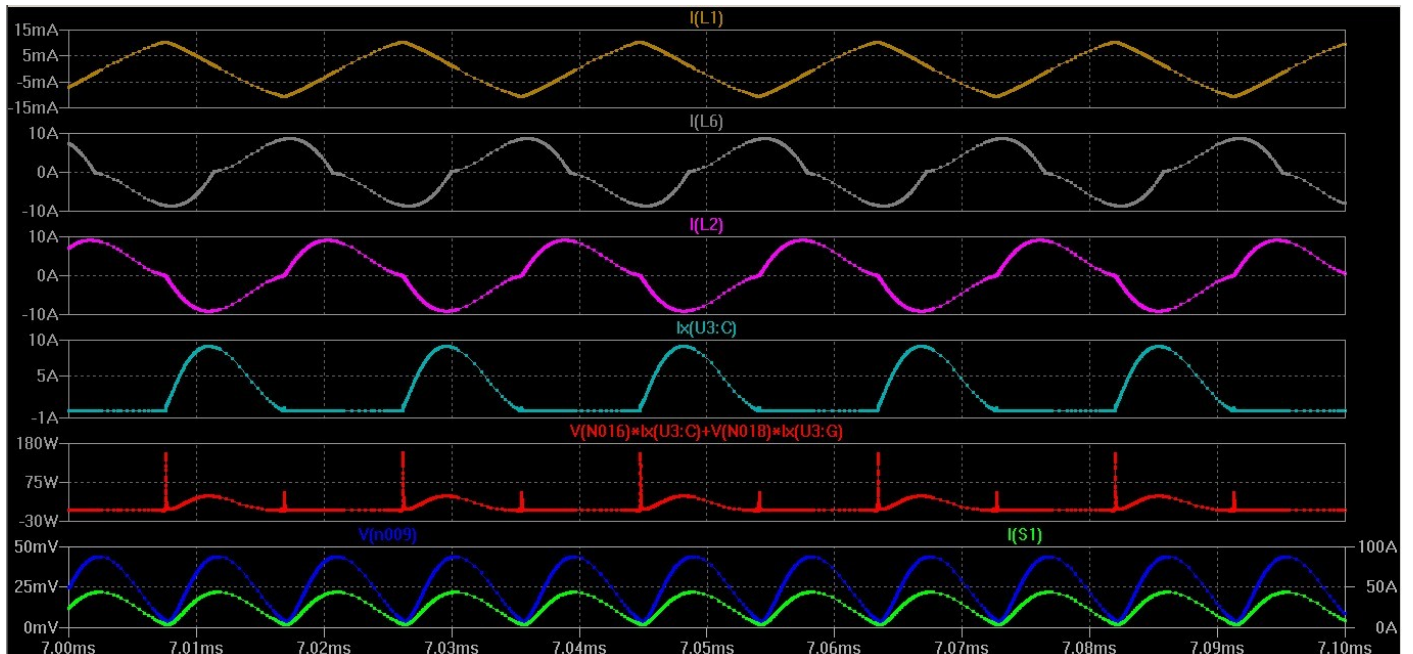
8.Режим короткого замыкания на выходе (1 мОм). Порядок следования осцил. сохранён. На пикче показан ток (RMS) первичной обмотки СТ (L2).



9.Режим короткого замыкания на выходе (1 мОм). Порядок следования осцил. сохранён. На пикче показан ток (RMS) рекуперативной обмотки (L6).



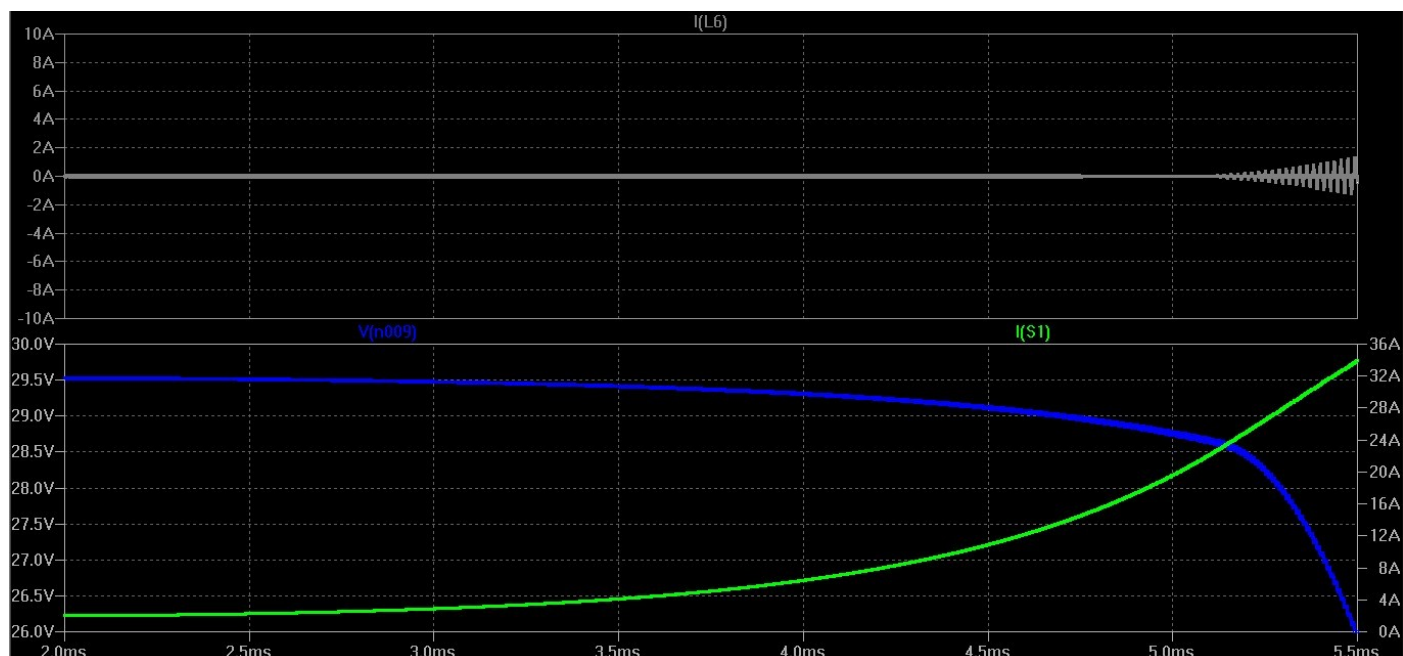
10.Режим короткого замыкания на выходе (1 мОм). Порядок следования осцил. сохранён. Для наглядности растянuto.



11.Режим работа (1,5 Ом). Изменение выходного напряжения от тока нагрузки

Сверху вниз:

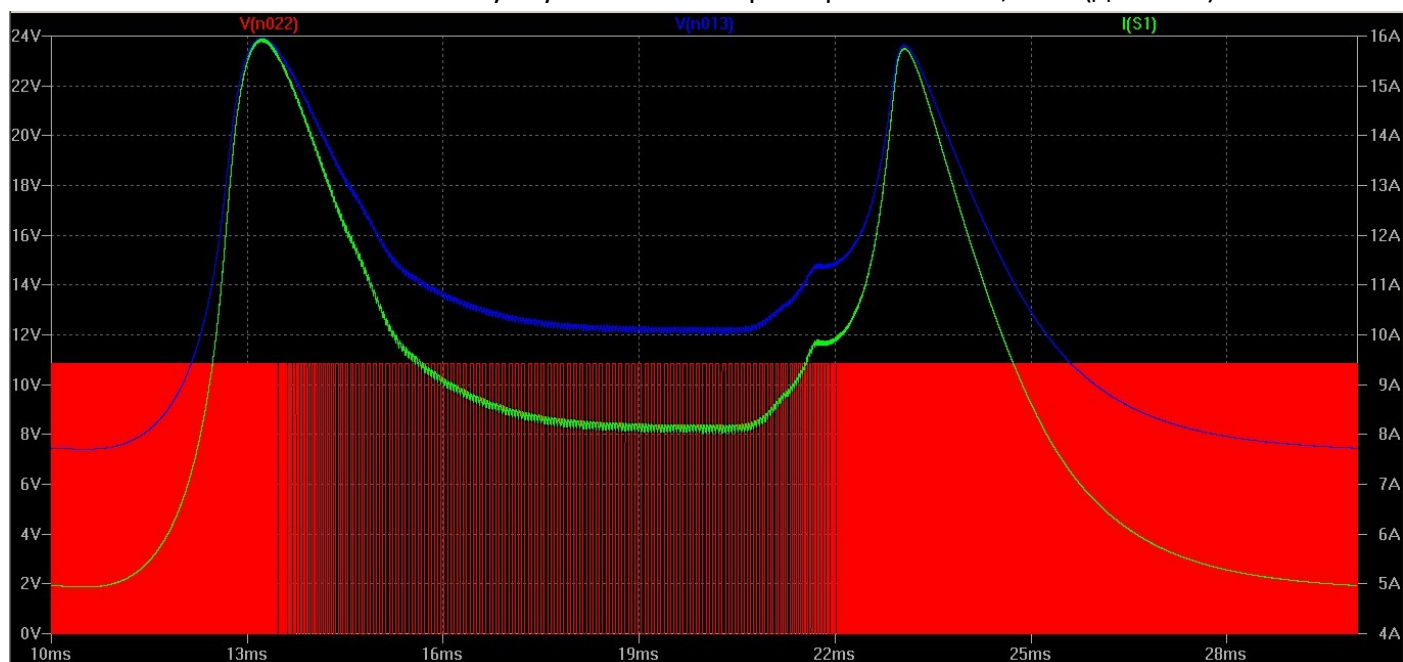
- ток в рекуперативной индуктивности (L6);
- выходной ток (зелень) и напряжение (синь)



12.Изменение выходного тока (зелень) и напряжения (синь) при изменении частоты преобразования «вниз» (первый горб) и «вверх» (второй горб).

Видно, что вых. ток и напряжения не достигают значений, показанных на предыдущих осцил.

Связано это с тем, что последний график осцил. получен в результате моделирования с IR2153, изменяя автоматом номинал R_t . Пауза у мелкосхемы фиксированная – 1,2мкс (даташит).



Ниже замечания и предложения автора thickman.

(из личной переписки)

Примечание:

Автор упоминает позиционные обозначения индуктивностей и ёмкостей из другой моей модели, выложенной в одной из тем на форуме В.Володина (название темы не помню), но суть от этого не меняется и о чём идёт речь понятно.

Автор:

Небольшое замечание по режиму токоограничения. Для определённости посмотрим на примере последней схемы Михаила, на всех картинках ниже красная и синяя диаграммы – импульсы управления на затворах ключей, зелёный – ток нижнего ключа стойки. На первом рисунке в овал заключён характерный участок, хорошо видно, что за время паузы ток через ключ успевает поменять направление, что приводит к отпираанию паразитного диода этого (нижнего) ключа. В результате чего при отпирании верхнего ключа неизбежен сквозной ток во время рассасывания неравновесных носителей в базе диода. Что можно предпринять. Сократить дед-тайм, на второй картинке дед тайм сокращён вдвое (600нан), опасного реверса уже нет, небольшие короткие пики (заключены в прямоугольники) в основном из за перезаряда выходных ёмкостей ключей при переключении стойки, в реальном железе добавится ток на перезаряд других емкостных паразитов неучтённых в модели. Полезно снизить величину дополнительной индуктивности, это позволит поиметь запас на случай нестабильности задающего генератора и элементов резонансного контура. Кроме того, остаток энергии в контуре в этом случае пойдёт в другом, "правильном" направлении, это снизит потери при включении. На последней картинке результат моделирования с $L_{доп}=40\text{мГн}$, участок тока заключенный в овал обусловлен перезарядом выходной ёмкости, при этом возможно отпирание паразитного диода, но теперь в другой, нужный момент, перед включением самого ключа.

Фильтрующая ёмкость после выпрямителя так же входит в эквивалентную схему замещения (естественно, приведенная к контуру через квадрат трансформации). Если фильтрующая емкость невелика, это обстоятельство необходимо учитывать при расчёте.

Развей (поясни) СВОЮ МЫСЛЬ (мой вопрос).

Автор:

Работу преобразователя можно разбить на несколько интервалов. Для простоты достаточно рассмотреть один резонансный полупериод без паузы. В этом случае из эквивалентной схемы замещения можно выкинуть трансформатор с выпрямителем, тогда хорошо видно, что в последовательный контур входит так же приведённая к первичной стороне фильтрующая (накопительная) емкость, про нагрузку сам домыслишь. Понятно, что если величина этой ёмкости много больше резонансной, то её влияние пренебрежимо мало (они включены последовательно!). В противном случае, когда величина этой ёмкости сравнительно невелика, резонансная частота контура будет выше расчётной. Это в номинальном режиме, в режиме кз выходная ёмкость перекрыта "козой" и резонансная частота контура снизится. Другими словами, желательно выбирать выходную емкость достаточно большой величины, тогда неважно, легкая нагрузка или кз, - резонансная частота будет практически неизменной.



