

АНАЛИЗ КОММУТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В АВТОГЕНЕРАТОРНЫХ ТРАНЗИСТОРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ

Сенько В.Ф.

Донецкий государственный технический университет, кафедра ПЭ

Abstract

Senko V.F. An analysis of switching actions in self-excited transistor converter carry out. Formulae are derive for determination of the duration switching action, addition dissipated by the transisor power and real efficiency of the converter. That formulae are necessary for determination maximal operating frecuency of the self - excited transistor converter and optimization parameters power transformer of the converter.

Улучшение массогабаритных показателей автономных источников вторичного электропитания радиоэлектронной аппаратуры осуществляется за счет увеличения частоты преобразования первичной энергии до значения 50...100 кГц. Во многих случаях эти функции выполняют автогенераторные транзисторные преобразователи постоянного напряжения в переменное, что позволяет наиболее просто получать многоканальные источники питания за счет введения дополнительных вторичных обмоток в силовой трансформатор преобразователя.

Приведенные в литературе [1] расчетные соотношения дают хорошее совпадение теоретических и практических результатов при рабочих частотах преобразователей не более 3...5 Кгц. При повышении рабочей частоты преобразователей наблюдается значительное увеличение мощности, рассеиваемой силовыми транзисторами, и уменьшение вследствие этого коэффициента полезного действия преобразователя. Основной причиной этого являются коммутационные процессы, протекающие в коллекторной цепи силового транзистора при переходе его из открытого состояния в закрытое. При низких частотах работы преобразователя относительная длительность этих процессов невелика, и они не оказывают заметного влияния на энергетические параметры преобразователя. По мере увеличения рабочей частоты

относительная длительность коммутационных процессов увеличивается, и их необходимо учитывать при расчете преобразователя.

Как известно, рабочая частота f_{np} автогенераторного преобразователя определяется временем перемагничивания сердечника силового трансформатора от значения индукции насыщения $-B_m$ до $+B_m$, и наоборот:

$$f_{np} = \frac{1}{2t_{пер}}$$

После насыщения сердечника силового трансформатора сопротивление трансформатора резко уменьшается, нагрузочная линия открытого транзистора проходит почти вертикально (рис 1.), транзистор выходит из насыщения, и в схеме развивается лавинообразный процесс, в результате которого силовые транзисторы меняют своё состояние на противоположное, а сердечник начинает перемагничиваться в обратном направлении. Таким образом, переходу схемы из одного состояния в другое предшествует увеличение тока транзистора от расчётного значения $I_{кнас}$ до величины $I_{кмах}$, которая зависит от расчётной глубины насыщения транзистора S_{min} и разброса параметров

транзистора $\frac{h_{21 max}}{h_{21 min}}$ [2]:

$$I_{кмах} = I_{кнас} \cdot S_{min} \cdot \frac{h_{21 max}}{h_{21 min}} = I_{кнас} \cdot S_{max}$$

Увеличение тока до значения $I_{кмах}$ не может произойти мгновенно, так как в цепи тока имеется индуктивность первичной обмотки силового трансформатора, величина которой определяет постоянную времени цепи, а, следовательно, и длительность коммутационных процессов t_k .

Форма коллекторного тока (рис 2.) во время перемагничивания сердечника определяется индуктивностью первичной обмотки ненасыщенного силового трансформатора L_1 , а во время коммутационных процессов - индуктивностью первичной обмотки насыщенного силового трансформатора L'_1 . Конечное значение индуктивности намагничивания L_1 приводит к тому,

что ток транзистора в открытом состоянии в соответствии со схемой замещения преобразователя (рис 3а.) описывается уравнением :

$$i_k(t) = I_{кнас} \cdot \left[1 + \frac{I}{1 - \eta_{тр}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_I}} \right) \right],$$

где $\eta_{тр}$ - к.п.д. силового трансформатора;

$$\tau_I = \frac{L_1}{R_{эк}}; R_{эк} = \frac{(r_{тр} + r_1) \cdot (r'_2 + R'_n)}{r_{тр} + r_1 + r'_2 + R'_n}.$$

При $t = t_{пер}$ ток $i(t) = I_{кнас} + \Delta I_k = I_{кнас} \cdot (1 + a)$,

где $a = \frac{\Delta I_k}{I_{кнас}} = \frac{I}{1 - \eta_{тр}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_{пер}}{\tau_I}} \right)$.

Чем больше L_1 , тем меньше ΔI_k , и форма тока за время $t_{пер}$ приближается к прямоугольной. Однако увеличение L_1 приведёт к увеличению также и L'_1 , а, следовательно, и к увеличению длительности коммутационных процессов. Увеличение коллекторного тока на 5...10% за время $t_{пер}$ незначительно увеличивает мощность, рассеиваемую транзистором, на величину $\Delta P_{тр}$:

$$\Delta P_{тр1} = P_{тр} \cdot \frac{a}{2},$$

Поэтому значение $a = 0.05 \dots 0.1$ можно рекомендовать для практического определения величины L_1 . Из выражения для a получим :

$$L_1 = \frac{t_{пер} \cdot R_{эк}}{-\ln[1 - a \cdot (1 - \eta_{тр})]}.$$

Определение длительности коммутационных процессов производится по схеме замещения для насыщенного состояния сердечника трансформатора (рис. 36).

После насыщения сердечника магнитная проницаемость его уменьшается в 200...500 раз, поэтому $L'1 \ll L1$, и в схеме замещения (рис.36) выполняется условие : $\omega L'1 \ll r^2 + R'n$. Начиная с момента насыщения сердечника , коллекторный ток изменяется по закону ($\Delta I_k \approx 0$):

$$i_k(t) = I_{кнас} + (I_{куст} - I_{кнас}) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_2}} \right),$$

где $I_{куст} = \frac{E_n}{R_{ЭК}}$; $\tau_2 = \frac{L'1}{R_{ЭК}}$.

Спустя время $t = t_k$ ток $i_k(t_k) = I_{кмах}$:

$$I_{кмах} = I_{кнас} + (I_{куст} - I_{кнас}) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_k}{\tau_2}} \right)$$

Откуда:

$$t_k = \tau_2 \cdot \ln \frac{I_{куст} - I_{кнас}}{I_{куст} - I_{кмах}}$$

Величину t_k необходимо учитывать при определении рабочей частоты преобразователя :

$$f_{пр} = \frac{1}{2(t_{пер} + t_k)}$$

и дополнительной мощности , рассеиваемой силовыми транзисторами :

$$\Delta P_{тр2} = \frac{I_{кmax}^2 \cdot R_{ЭК} \cdot t_k}{3(t_{пер} + t_k)}$$

Во время коммутационных процессов напряжение на вторичной обмотке трансформатора практически не изменяется, поэтому токи коммутационных процессов замыкаются в цепи источника и первичной обмотки трансформатора и, следовательно, уменьшает к.п.д. преобразователя.

Для уменьшения влияния коммутационных процессов на параметры преобразователя необходимо увеличить соотношение $L1/L'1$, что достигается получением требуемого значения $L1$ за счёт увеличения размеров сердечника при одновременном уменьшении числа витков первичной обмотки силового трансформатора.

Расчёты проведённые по полученным формулам, показали, что при увеличении рабочей частоты преобразователя до 30...50кГц длительность коммутационных процессов составляет 15...20 % времени перемангничивания сердечника, а мощность рассеиваемая транзистором, увеличивается почти вдвое.

Использование приведенной методики определения параметров преобразователя позволяет оптимально выбрать рабочую частоту и конструктивные параметры силового трансформатора преобразователя.

Литература

1. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры. Справочник; Под ред. Г.С. Найвельта.- М.: Радио и связь, 1986.
2. Высокочастотные транзисторные преобразователи. Э.М.Ромаш и др.- М. Радио и связь, 1988.

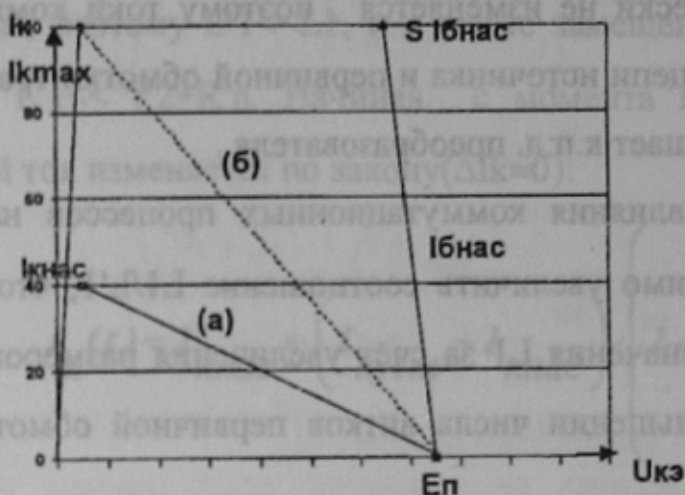


Рисунок 1 — Режимы работы транзистора в процессе перемагничивания сердечника(а) и в момент переброса схемы в противоположное состояние(б)

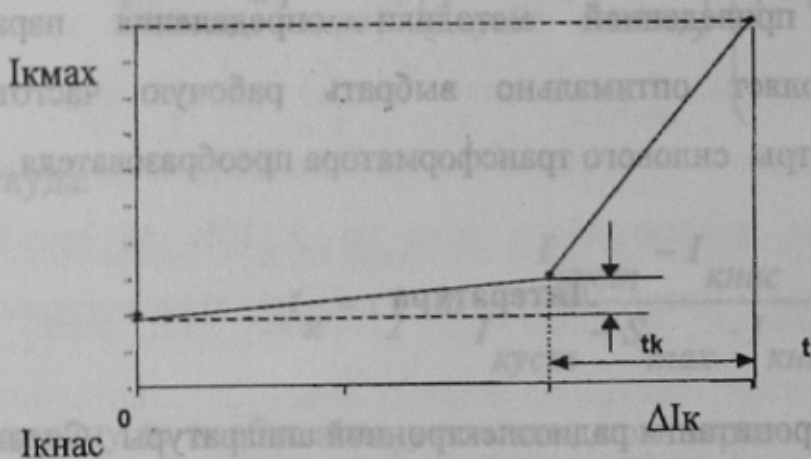
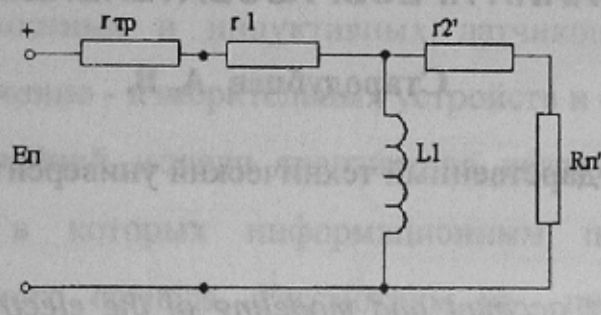


Рисунок 2 — Форма тока силового транзистора автогенераторного преобразователя.

(а)



(б)

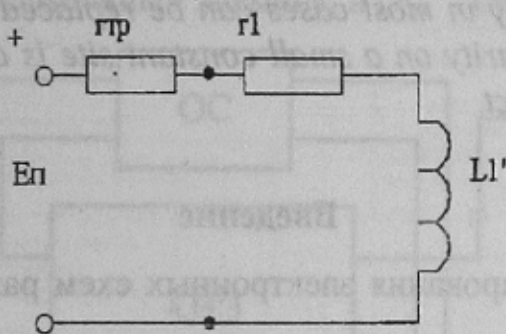


Рисунок 3 — Схема замещения преобразователя в режиме перемангничивания сердечника трансформатора (а) и в режиме насыщения сердечника трансформатора (б).