

*W tym liście nadal będę Cię namawiał do zapoznania się z zasilaczami impulsowymi. Temat jest może trudny, ale już teraz wyobraź sobie swoją radość, gdy wreszcie wszystko zrozumiesz! Czytaj więc!*



## Przetwornice impulsowe – ogólnie

### Częstotliwość pracy a szybkość narastania prądu

Ten śródtytuł wyjaśni ci zależność między częstotliwością pracy przetwornicy, a potrzebną wartością indukcyjności zastosowanej cewki.

Z tego, co ci powiedziałem do tej pory, mogłeś wysnuć wniosek, że w praktyce stosuje się przetwornice pracujące przy częstotliwościach rzędu stu i więcej kiloherców. Są i takie przetwornice, ale wciąż wiele przetwornic pracuje przy częstotliwościach 20...40kHz.

Unika się natomiast pracy przy częstotliwości poniżej 20kHz, bo pracy przetwornicy mógłby towarzyszyć pisk słyszalny przez ludzi.

Przypuśćmy jednak, że tobie nie zależy na miniaturyzacji. Masz w urządzeniu sporo miejsca i śmiało możesz zastosować cewkę o trochę większych rozmiarach.

Nie zamierzasz „żyłować” parametrów – będziesz pracować przy częstotliwości 20kHz i nawet na wszelki wypadek zastosujesz cewkę o większej indukcyjności niż wymagana minimalna...

Stop! Popełnisz karygodny błąd!

W przypadku cewek do przetwornic indukcyjność nie może być dobierana „z zapasem na wszelki wypadek”. To jedna z kluczowych spraw. Musisz to dokładnie rozumieć – zaraz ci wytłumaczę dlaczego.

Owszem, w przypadku kondensatorów elektrolitycznych w obwodach filtracji zasilania bardzo często (prawie zawsze), dajemy pojemność większą, niż wymagana minimalna. Jest to bardzo słuszne, bo kondensatory te mają po pierwsze duże odchyłki pojemności od wartości nominalnej – do 40...50%, a po drugie, niektóre z tych kondensatorów sta-

rzejąc się, tracą znaczną część pojemności (wskutek wysychania elektrolitu).

Stosowanie elektrolitów „z zapasem na wszelki wypadek” w zasilaczach, do odsprężania i sprężania ma więc swoje głębokie uzasadnienie praktyczne.

Inaczej jest w przypadku cewek do przetwornic.

Pracę przetwornicy przyrównaliśmy do przelewania wody z jednej beczki do drugiej. Nasza cewka jest naczyniem, którym czerpiemy wodę z jednej beczki, a za chwilę wylewamy do drugiej beczki.

Przypuśćmy, że obliczyliśmy już częstotliwość, z jaką musimy czerpać wodę używając szklanki. Ale potem wpadamy na pomysł, żeby „na wszelki wypadek” użyć większego, litrowego naczynia. Częstotliwość pozostanie ta sama, naczynie będzie większe – chyba nie będzie problemu?

No właśnie, tu tkwi błąd, bo tym nowym naczyniem, wbrew naszym intencjom oka-

że się nie litrowy, płaski rondel, tylko litrowa... butelka po wodzie mineralnej.

Pojemność naczynia rzeczywiście będzie większa, ale przecież taka butelka ma wąską szyjkę. Efekt?

Przy użyciu „dobrej z zapasem”, litrowej butelki wydajność przelewania radykalnie... spadnie, bo butelka nie zdąży się napełnić w przepisany czas nawet w jednej czwartej! Nasza zapobiegliwość „na wszelki wypadek” okazała się pomysłem fatalnym w skutkach.

Czy potrafisz mi wyjaśnić, czym jest ta „wąska szyjka butelki” w przypadku cewki o indukcyjności większej niż potrzeba?

Nie wiesz?

To zajrzyj do EdW 1/97 na stronę 59 i jeszcze raz przeanalizuj rysunki 11 i 12 (przypominam: na rysunku 11 powinno być  $U = \text{const}$ ). Sprawę wyjaśnia rysunek 12 i podane wzory. Przy danym napięciu zasilania  $U_z$ , prąd w cewce o większej indukcyjności wzrasta wolniej, niż w cewce o małej indukcyjności.

To samo wynika z rysunków 3 i 4, podanych w liście z października 97.

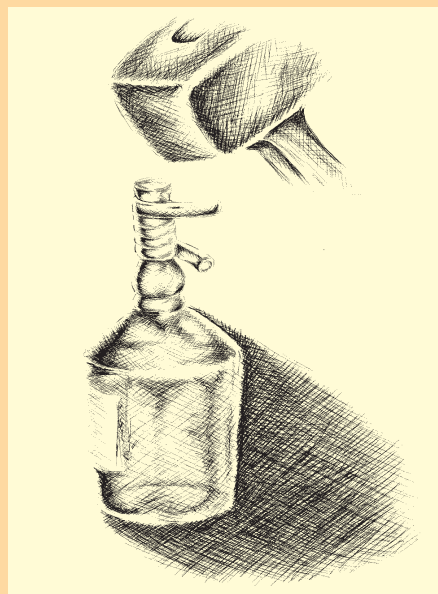
Dla odważnych mam teraz kilka prostych wzorów.

Przy rozpatrywaniu tych wzorów pamiętaj, że choć przetwornica jest impulsowa, czyli ma coś wspólnego z prądami zmiennymi, jej działanie analizujemy stosując wzory opisujące działanie cewki przy prądzie stałym.

Możesz sobie wyobrazić w uproszczeniu, że przetwornica po prostu sieka przebieg stały.

Przy napięciu zasilającym  $U_z$  i cewce o indukcyjności  $L$ , chwilowa wartość prądu po czasie  $t$  wyniesie:

$$I = \frac{U_z \times t}{L}$$



Oczywiście wartość ta musi być mniejsza od maksymalnego dla danej cewki prądu  $I_{max}$  (por. rysunki 3 i 4 w poprzednim liście). Ale nie to jest teraz najważniejsze.

Nasza przetwornica ma pracować przy jakiejś ustalonej częstotliwości, więc jest już z góry określone, ile czasu mamy na „naładowanie” cewki, czyli na zgromadzenie w niej potrzebnej porcji energii. Jest to nasz czas  $t$ .

Gromadzona w cewce energia wyraża się wzorem

$$E = \frac{LI^2}{2}$$

Jeśli podstawimy naszą wartość  $I$  z poprzedniego wzoru, otrzymamy:

$$E = \frac{L \left( \frac{U_z \times t}{L} \right)^2}{2}$$

$$E = \frac{U_z^2 \times t^2}{2L}$$

Ze wzoru tego wynika niedwuznacznie, że przy ustalonym napięciu zasilania  $U_z$  i ustalonym czasie „ładowania”, zgromadzona w cewce energia, jest tym mniejsza, im większa jest indukcyjność!

Nawet jeśli nie zrozumiałeś sensu powyższych wzorów, chyba już poczułeś to intuicyjnie – już pierwszy rzut oka na wzór

$$E = \frac{LI^2}{2}$$

pokazuje, że decydujące znaczenie ma tu prąd, który we wzorze występuje w drugiej potęgde.

Tymczasem, o zgrozo, zwiększenie indukcyjności spowalnia narastanie prądu, nie pozwalając na zgromadzenie się w cewce potrzebnej ilości energii. Teraz chyba już rozumiesz, jak to jest z tym wąskim gardłem butelki: za duża indukcyjność, to zbyt wolne narastanie prądu, czyli zbyt wolne napełnianie butelki.

Tym samym doszliśmy do bardzo, ale to bardzo ważnego wniosku:

**Przy danym napięciu zasilania i ustalonej częstotliwości pracy przetwornicy, nadmierne zwiększanie indukcyjności jest szkodliwe, bo zmniejsza moc przenoszoną przez przetwornicę.**

Jeśli tak, to po analizie powyższych wzorów, mógłbyś dojść do wniosku, że indukcyjność trzeba zmniejszać, bo wtedy prąd szybko rośnie i można zgromadzić w cewce dużo energii. To prawda, ale... Stop! Nie tak prędko!

Znów możesz „przedobrzyć”.

Co to znaczy zmniejszyć indukcyjność? Zastosować cewkę o mniejszych wymiarach? O mniejszej liczbie zwojów? A może rdzeń powinien mieć mniejszą

przenikalność? Może wyposażyć rdzeń w szczelinę powietrzną?

No właśnie! Mamy sporo możliwości.

Celowo „nudziłem” cię wcześniej aż do mdłości opowiadaniem o dielektryku kondensatora i rdzeniu cewki! Indukcyjność możesz zmniejszać, tym samym zwiększając szybkość narastania prądu. Ale nie uważaj, że zmniejszanie indukcyjności (np. przez zmniejszenie ilości zwojów cewki) od razu rozwiąże problem. Pamiętaj, że dla zgromadzenia określonej ilości energii, musisz zastosować rdzeń o odpowiedniej wielkości – przecież energia gromadzona jest w „sprężynkach magnesików”. Tego wymagania nie ominiesz! Gdzieś tę energię musisz zgromadzić.

Uff! Masz tu do przeanalizowania kolejną ważną sprawę – wielkość rdzenia.

Mówię ci tu dużo o wielkości rdzenia cewki. Wyjaśnię ci to jeszcze bliżej w przyszłości. Ale do wszystkiego będziemy dochodzić pomału, żebyś się nie zraził.

Może w pierwszej chwili, trudno to poczuć intuicyjnie, ale postaraj się zrozumieć tę sprawę – powróć do poprzedniego listu i poukładaj w głowie.

Podzielię się tu z tobą moją opinią: we wszystkich znanych mi podręcznikach nie tłumaczy się jasno i przystępnie związku między gromadzoną energią, a wielkością rdzenia i wielkością ewentualnej szczeliny powietrznej. Podaje się za to mnóstwo skomplikowanych wzorów, od których od razu zaczyna boleć głowa. W literaturze spotkałem przynajmniej kilka sposobów na obliczanie cewek przeznaczonych do przetwornic, i muszę ci powiedzieć, że większość tych sposobów jest tak obrzydliwie powikłana, że skutecznie odbiera chęć do zajmowania się tą sprawą. Dlatego nie dziwię się, że większość elektroników zamiast takich obliczeń podejmuje próby zbudowania przetwornicy „po omacku”, metodą prób i błędów. Ja chciałbym ci wykazać, że sprawa nie jest wcale taka trudna, choć jak już sam widzisz, w grę wchodzi wiele czynników i ograniczeń.

## Powtórka

A teraz mała powtórka.

Skoncentruj się.

Przed wszystkim już na początku naszych rozważań doszliśmy do wniosku, że budując przetwornicę o określonej mocy mamy do wyboru dwie drogi:

1. albo zwiększać indukcyjność i pracować przy małych częstotliwościach,
2. albo zmniejszać indukcyjność i zwiększać częstotliwość.

Pierwsza droga nie jest zachęcająca, bo trzeba wtedy stosować cewkę, gromadzącą jednorazowo znaczną ilość energii, a to nieuchronnie oznacza duże wymiary tej cewki.

Druga droga jest bardziej obiecująca, bo można stosować cewkę o mniejszych wymiarach, a to przy obecnych trendach jest jak najbardziej pożądane. Przy dużych częstotliwościach występuje jednak szereg trudności:

- znaczne straty w tranzystorach przełączających
- znaczne straty wynikające z przebiegowania rdzenia (tarcie magnesików)
- straty z prądów wirowych

i w konsekwencji nie można pracować przy zbyt wysokich częstotliwościach, bo taka przetwornica będzie się bardzo nagrzewać, i tym samym jej sprawność będzie mała. Czyli nie możemy też przesadzić ze zmniejszaniem indukcyjności i zmniejszaniem wymiarów rdzenia.

W tym liście zasygnalizowałem ci, że zastosowanie cewki o mniejszej indukcyjności pozwala w danym czasie (pamiętaj, że założyliśmy jakąś częstotliwość pracy przetwornicy) zgromadzić większą ilość energii.

Jednak przy nadmiernym zwiększaniu prądu w cewce doprowadzimy do sytuacji, w której wszystkie elementarne magnesiki rdzenia ustawiają się zgodnie w jednym kierunku, wyznaczonym przez pole wytworzone przez płynący prąd. Dalsze zwiększanie prądu jest bez sensu, bo niczego nie zmienia w rdzeniu, w każdym razie nie zwiększa ilości magazynowanej energii.

Jeśli rozumiałeś sens omawianych ograniczeń i znalazłeś jasną odpowiedź gdzie i dlaczego gromadzi się energia, to już wkrótce będziesz potrafił dobrać cewkę do przetwornicy czy zasilacza impulsowego. Celowo piszę – dobrać, a nie obliczyć. Wstrzymaj się jeszcze z bólami. Zanim przejdziemy do praktyki, wcześniej spróbuję ci wyjaśnić bardzo ważną sprawę. Chodzi o związek indukcyjności z liczbą zwojów, materiałem oraz wymiarami rdzenia.

Nie będę cię namawiał do tasiamcowych obliczeń. No może... Parę wzorów na wszelki wypadek nie zaszkodzi.

Mógłbym ci w zasadzie już teraz podać kilka prostych wzorów na obliczanie przetwornic, ale wtedy nie przeczytałbyś materiału jeszcze głębiej wchodzącego w temat obliczania cewek.

Nie mogę ci tego odpuścić. To też jest ważna sprawa, którą musisz zrozumieć.

Dlatego najpierw zabierzemy się za sprawę przetwornic „od kuchni” i jestem pewny, że uda się nam wyjaśnić problem natężenia pola  $H$ , indukcji magnetycznej  $B$ , przenikalności  $\mu_0$ ,  $\mu_r$ ,  $\mu$ , strumienia, ... i innych straszylek, które śnią się po nocach uczniom wkuwającym te tematy.

Mam nadzieję, że stopniowo zrozumiesz sedno sprawy i to pomoże ci budować przetwornice impulsowe, ze świadomością tego, co robisz.

A więc do następnego listu!

Piotr Górecki

grafika: Małgorzata Zackiewicz