

Do wytwarzania wysokich napięć w celach eksperymentalnych najczęściej używa się generatorów elektrostacyjnych van de Graaffa, generatorów Tesli albo znanych chyba wszystkim induktorów Ruhmkorffa. Spośród wymienionych źródeł jedynie generator van de Graaffa dostarcza prądu stałego. Pozostałe dwa wytwarzają wysokie napięcia zmienne, przy czym generator Tesli pracuje na dużej częstotliwości. Induktory (cewki) Ruhmkorffa są bardzo rozpowszechnione. Między innymi, używa się ich do wytwarzania wysokich napięć, około 20 kV, powodujących wyładowania iskrowe na świecach zapłonowych w silnikach spalinowych. O wiele potężniejsze od samochodowych cewki Ruhmkorffa spotyka się w szkolnych pracowniach fizycznych.

Konstrukcja induktora Ruhmkorffa jest nieskomplikowana. Zbudowany jest on z dwóch uzwojeń – rys. 1. Grube uzwojenie pierwotne, o niewielkiej liczbie zwojów, ma za zadanie wytworzyć strumień magnetyczny. Na uzwojeniu pierwotnym znajduje się uzwojenie o bardzo dużej liczbie zwojów z cienkiego drutu, zwane uzwojeniem wtórnym. Na skutek bliskiego sąsiedztwa tych uzwojeń występuje między nimi silne sprzężenie indukcyjne. Strumień magnetyczny wytwarzany przez uzwojenie pierwotne przenika uzwojenie wtórne, indukując w nim wysokie napięcie. Na ogół cewki tego typu wyposaża się w rdzenie ferromagnetyczne, zapobiegające nadmiernemu rozproszeniu strumienia magnetycznego.

Podstawowym czynnikiem, decydującym o wielkości indukowanego napięcia wtórnego, jest szybkość zmian prądu w uzwojeniu pierwotnym, czyli bezpośrednio szybkość zmian strumienia magnetycznego od tego uzwojenia, przecinającego uzwojenie wtórne. Oprócz tego czynnika istotny jest dla danej cewki indukcyjnej stały czynnik – k , zależny od jej budowy.

W klasycznym rozwiązaniu cewki Ruhmkorffa szybkie zmiany prądu w uzwojeniu pierwotnym uzyskuje się za pomocą przerywacza mechanicznego, np. w pojazdach, albo elektromechanicznego. Przerywacz pracuje w trudnych warunkach impulsowego złączania i rozłączania znacznych prądów, toteż zużywa się on dość szybko.

Zamiast przerywacza ze stykami metalicznymi można jednak użyć półprzewodnikowego przerywacza bezstykowego, a mianowicie tyrystora. Tyrystor zapewni wielką prędkość złączania znacz-

nych prądów i ma dużą trwałość, oczywiście w znamionowych warunkach pracy. Jego zalety są powszechnie wykorzystywane, np. tyrystory stosuje się już w niektórych seryjnie produkowanych samochodowych urządzeniach zapłonowych.

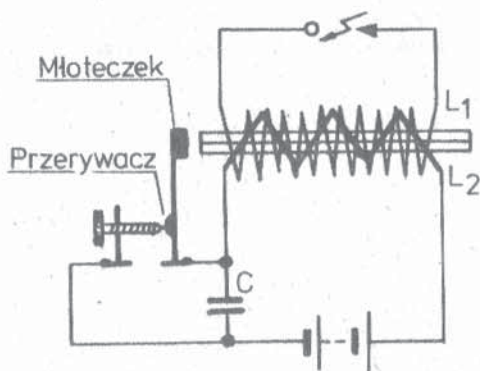
W naszym przypadku użyjemy tyrystora jako przerywacza w amatorskim generatorze bardzo wysokiego napięcia, lecz zanim przystąpimy do opisu wykonania urządzenia, chcielibyśmy przestrzec majsterkowiczów przed ewentualnością groźnych skutków lekceważenia wysokich napięć. Podkreślamy konieczność zachowania rozwagi i ostrożności. Opisany niżej generator jest bezpieczny, pod warunkiem wykonania go ściśle wg podanych wskazówek!

Schemat elektryczny generatora zamieszczony został na rys. 2.

Układ pobiera energię wprost z sieci oświetleniowej 220 V. Dioda D1 prostuje półkresowo napięcie sieci i ładuje przez opornik Z (żarówka 220 V/150 W) kondensator C. Równolegle do kondensatora, przez tyrystor T, włączone jest uzwojenie pierwotne L_1 cewki indukcyjnej. W drugim półokresie napięcia dioda D2 steruje, przez opornik R i potencjometr regulacyjny PR, bramkę tyrystora. Układ sterowania tyrystora nie jest zbyt efektywny (powolne narastanie napięcia bramki), ale w tym przypadku zupełnie wystarczający, a poza tym niezwykle prosty.

Generator wysokiego napięcia składa się z dwóch zasadniczych podzespołów – zasilacza i cewki indukcyjnej.

Zasilacz trzeba wykonać bardzo starannie, ze szczególnym uwzględnieniem izolacji, która musi być niezawodna! Obudowę zasilacza najlepiej wykonać z blachy lub użyć na nią gotowego pudła metalowego. Elementy zasilacza należy umieścić na sztywnej płytce izolacyjnej, zachowując co najmniej piętnastomilimetrową odległość każdego z nich od obudowy. Nieco kłopotu może sprawić żarówka Z , pełniąca w układzie dwojaką rolę – opornika ładującego pojemność C, oraz bezpiecznika. Pracuje ona mianowicie prawie pełną mocą wydzielając znaczną ilość ciepła. Żarówkę można umieścić we wnętrzu obudowy, lecz wtedy konieczne jest wykonanie otworów chłodzących i osłonięcie radiatora tyrystora przed bezpośrednim promieniowaniem żarnika, np. tyrystor po drugiej stronie płytki izolacyjnej. Prościej natomiast będzie wykonać w obudowie otwór o średnicy większej od średnicy szyjki żarów-



RYS. 1

ki i wkręcać żarówkę z zewnątrz. W drugim przypadku obudowa staje się znacznie mniejsza, jednakże żarówka z niej wystaje i łatwo ją stłuc, a ponadto dość intensywnie świecący żarnik utrudnia niektóre obserwacje.

Tyrystor wymaga zamocowania na aluminiowej płytce radiacyjnej, o wymiarach około $80 \times 80 \times 3$ mm.

Bardzo ważnym elementem zasilacza jest kondensator C. Pracuje on w niezwykle ciężkich warunkach impulsowych, a więc musi mieć doskonałą, małostratną izolację. Zasadniczo w generatorze powinien pracować specjalny kondensator, tzw. kondensator komutacyjny, jednak taki element jest trudno osiągalny. W generatorze modelowym ominięto tę trudność stosując cztery kondensatory styrofoksowe, o pojemności po 0,33 mikrofarada każdy, połączone równolegle. Izolacja kondensatorów była przystosowana do napięcia 400 V. Nie polecamy tu stosowania jednego kondensatora o wymaganej pojemności, ponieważ znaczne prądy rozładowujące mogą zniszczyć jego wyprowadzenia. Warto też zaznaczyć, że kondensatory również należy chronić przed promieniowaniem żarówki.

Montaż zasilacza trzeba wykonać drutem o średnicy 1 mm, z wyjątkiem obwodu: kondensator C, tyrystor T, który należy połączyć drutem o średnicy 2 mm. Wszystkie punkty połączeń wymagają solidnego lutowania.

Do połączenia zasilacza z siecią nadaje się tylko przewód (sznur) trójżyłowy. Dwie z żył służą do doprowadzenia energii, natomiast trzecią żyłę łączy się z obudową z jednej strony i z gniazdkiem uziemiającym wtyczki sieciowej – z drugiej strony (podobnie jak w żelazku elektrycznym).

Gniazdo sieciowe z kontaktem uziemiającym zamocowane w obudowie służy do wyprowadzania impulsów prądowych z zasilacza. Bolec uziemiający tego gniazda należy połączyć z obudową zasilacza.

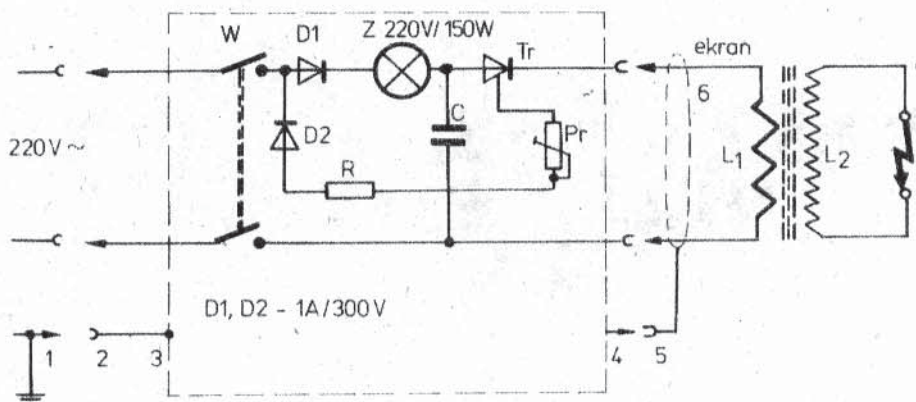
Cewka indukcyjna została zaprojektowana pod kątem możliwości amatorskich. Składa się ona z zespołu cewek wysokiego napięcia od odbiorników telewizyjnych (uzwojenie wtórne), oraz kilkunastu zwojów grubego drutu o średnicy 2 mm (uzwojenie pierwotne). Uzwojenie pierwotne nawinięte jest wprost na ferrytowym pręcie antenowym o średnicy 8 mm. Liczba zwojów nie jest krytyczna i może wynosić np. 15–30, zależnie od potrzeb. W prototypie kilkanaście zwojów pierwotnych rozciągnięto na całą długość posiadanego pręta ferrytowego tak, że łączna długość uzwojenia wystarczyła do nasunięcia pięciu cewek TVL 40, z których odcięto kształtki dystansowe. Oczywiście można tu użyć praktycznie dowolnych cewek, kierując się dążnością do uzyskania maksymalnej łącznej liczby zwojów, np. cewki TVL 25 do 40.

Między uzwojeniem pierwotnym a wtórnym założono szklaną rurkę, o średnicy zewnętrznej równej wewnętrznej średnicy cewek wysokonapięciowych (po wypilowaniu nadlewu ustalającego położenie cewki). Znacznie łatwiej i z lepszym skutkiem można tu użyć rury z pleksi lub polistyrenu. Podkreślamy, że izolacja między uzwojeniami jest nieodzowna. Istotne szczegóły konstrukcji cewki indukcyjnej znajdują się na rys. 3.

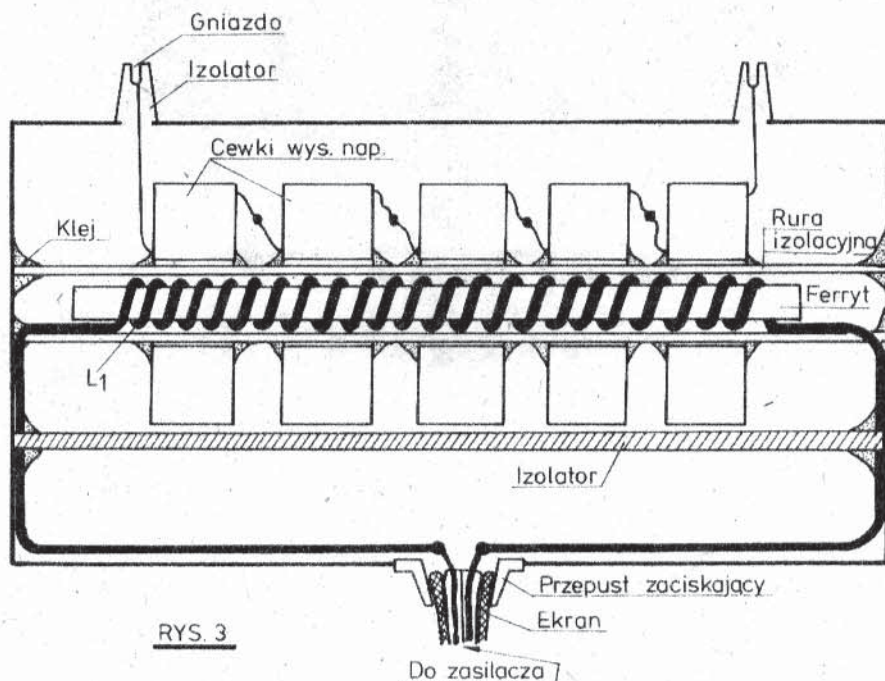
Wszystkie cewki wysokiego napięcia trzeba połączyć szeregowo, to znaczy dla jednakowego ich położenia na rurce izolacyjnej łączymy początek jednej cewki z końcem następnej tak, żeby kierunek zwojów był zgodny.

Jeśli nie zależy nam na uzyskaniu zbyt wysokiego napięcia, wystarczy izolacja powietrzna i rozsuniecie poszczególnych cewek na równe odległości. Połączenia między poszczególnymi cewkami maksymalnie skrącamy i lutujemy dbając o kulisty kształt spoin. Pozostawienie ostrych krawędzi spowoduje silny ulot. Połączenia cewek trzeba także osłonić koszulką izolacyjną i to możliwie grubą. Zachowując umiarkowane rozmiary cewki indukcyjnej nie uda się przekroczyć napięcia 50 000 V dla izolacji powietrznej. W urządzeniu próbnym przekroczenie tego napięcia powodowało bardzo silny ulot i okresowe wyraźne przebicia izolacji, niegroźne ze względu na znikomą moc wyładowań. Bardzo dobre rezultaty daje zalanie całej cewki indukcyjnej dobrym izolatorem, np. czerzyną lub czystą stearyną czy dowolną masą zalewową z kondensatorów blokowych. Wówczas nietrudno będzie uzyskać i wyższe napięcia, po zwiększeniu liczby zwojów uzwojenia wtórnego i ewentualnie pojemności C np. do 4 mikrofaradów.

W wykonaniu „powietrznym” wszystkie cewki przyklejamy klejem polistyrenowym do rurki izola-



RYS. 2

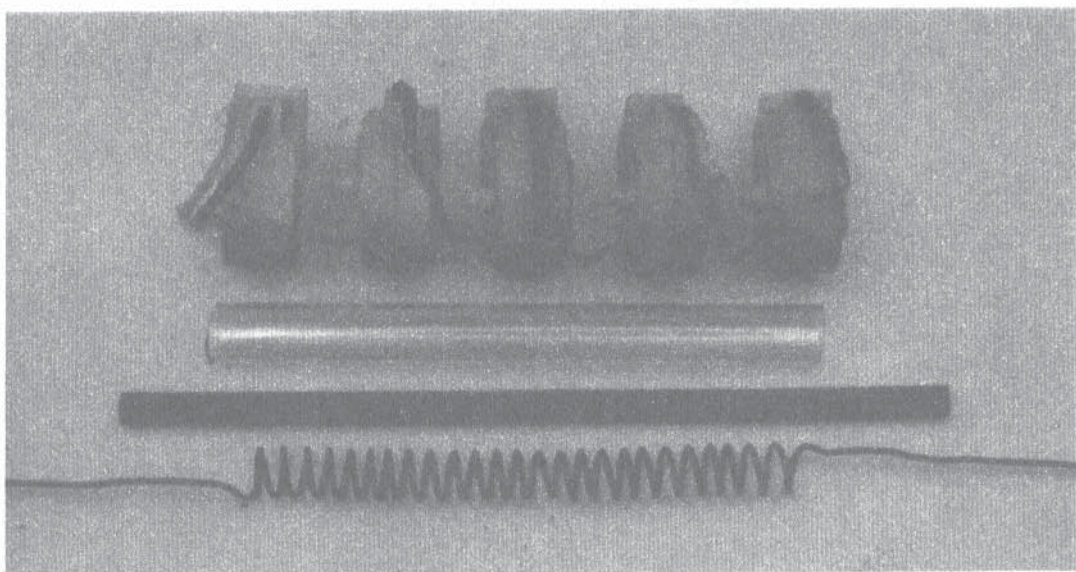
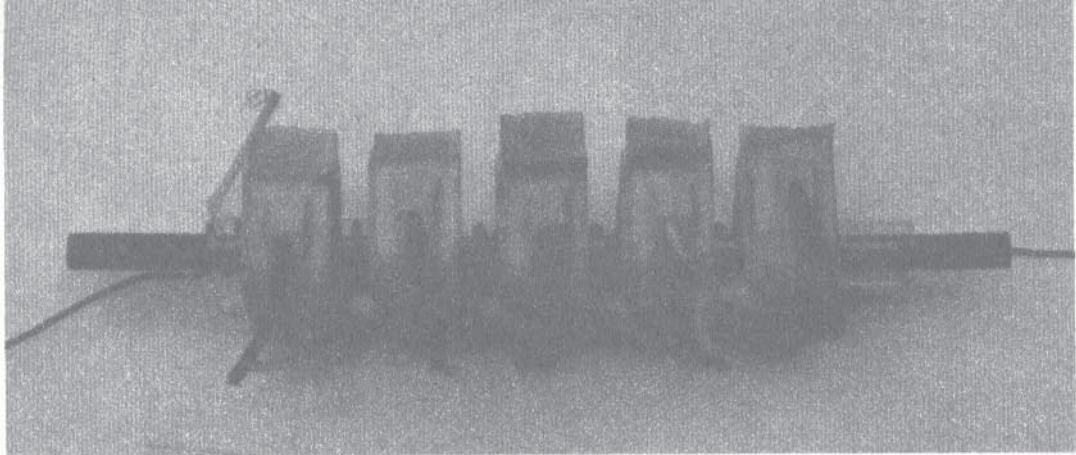


RYS. 3

cyjnej, a całą cewkę indukcyjną umieszczamy w podłużnym pudełku polistyrenowym. Z tego pudełka wyprowadzamy przewód zasilający uzwojenie pierwotne i elektrody wysokonapięciowe. Przewód zasilający musi mieć dwie żyły z izolacją na 750 V, dodatkowo osłonięte płaszczem ekranującym. Przewód zakończymy wtykiem z kontaktem uziemiającym, łącząc ekran do uziemienia. Opisany przewód najlepiej sporządzić we własnym zakresie z dwóch grubych żył miedzianych 2,5 mm, w dobrej izolacji igelitowej. Długość przewodu nie powinna

przekraczać 1 m. Na żyły naciągniemy typowy ekran siatkowy i ewentualnie zewnętrzną koszulkę izolacyjną. Ekran na przewodzie zapobiega przypadkowym przebiciom izolacji, co mogłoby spowodować zwarcie przewodów. Płaszcz ekranujący kończy się na plastikowej obudowie cewki indukcyjnej, dalej do uzwojenia pierwotnego bieżą już same żyły.

Gorące, wysokonapięciowe końce od zespołu cewek należy wyprowadzić po przeciwnej stronie niż przewód zasilający, zachowując możliwie duże od-



Konstrukcja transformatora wysokiego napięcia. Telewizyjne, wysokonapięciowe cewki nałożone są na szklaną rurę, wewnątrz której znajduje się grube, pierwotne uzwojenie na pręcie ferrytowym – fot. u góry i ten sam transformator rozebrany na elementy składowe – fpt. u dołu.

ległości wzajemne. Trzeba tu podkreślić, że najmniejsza odległość dla 50 000 V wynosi przynajmniej 30 mm! Pełne przebicie powstaje natomiast przy napięciu 30 000 V, przypadającym na 1 cm warstwy powietrza. Stąd właśnie zaleca się zalanie cewki izolatorem stałym. Po skrzepnięciu ma on znacznie większą wytrzymałość na przebicie.

Po zmontowaniu zasilacza należy wyregulować punkt otwierania tyrystora za pomocą nastawienia wartości potencjometru regulacyjnego PR. W zasilaczu modelowym wartość nastawiona wyniosła 30 kiloomów, ale jest ona tylko orientacyjna. Ponieważ amatorzy mają na ogół skromne wyposażenie, polecimy tutaj metodę regulacji „na słuch”.

Gotowe uzwojenie pierwotne cewki indukcyjnej, nasunięte na rdzeń ferrytowy, podłączamy do gniazda wyjściowego zasilacza. Uwaga! – Pełne napięcie sieci po włączeniu!

Regulując PR usłyszymy ciche szeleszcząco-dźwięczące stuki – powinny one być płynne i wyraźne. W tym czasie można obserwować żarówkę – świeci z zauważalnym drżeniem, ale bez wahań natężenia światła. Zbliżone efekty regulacji świadczą o prawidłowym działaniu zasilacza.

★

Nietrudno się domyślić, że opisany zasilacz może podawać impulsy prądowe na inne cewki indukcyjne, np. samochodowe lub na szkolną cewkę Ruhmkorffa. Przestrzegamy tu jednak przed lekkomyślnymi doświadczeniami. Z powodu energii zgromadzonej w kondensatorze impulsy te są groźne dla zdrowia. Zanim zatem zaczniemy eksperymentować z wysokim napięciem, wykonajmy w pierw cewkę indukcyjną wg opisu.

(w.a.)