

3. UKŁADY PODSTAWOWE

30. Wstęp

Budowa elektronowych maszyn cyfrowych opiera się na elementach i układach techniki telekomunikacji, wykorzystywanych, jednakże, w sposób przeważnie odrębny. W maszynach cyfrowych interesujemy się wiernością przekazania przebiegu czasowego li tylko z punktu widzenia zapewnienia jak największego prawdopodobieństwa prawidłowego przekazania informacji. Informacją tą jest w układach liczących przy bazie dwójkowej stwierdzenie, który z dwóch możliwych stanów został przekazany.

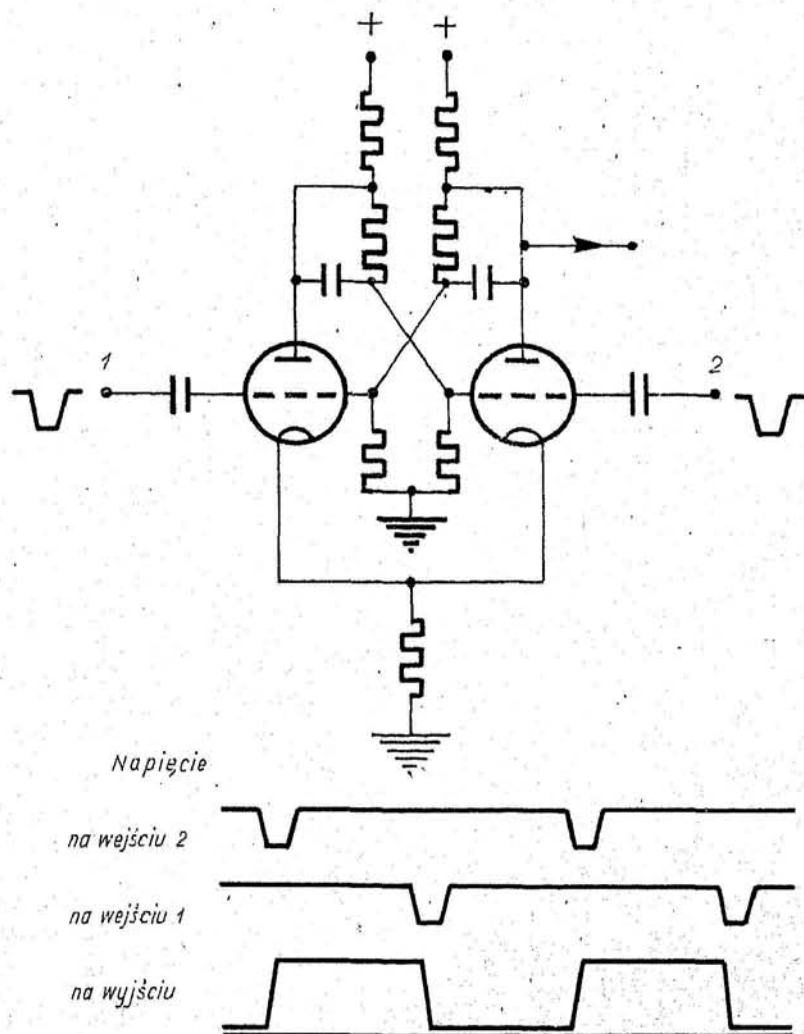
Z punktu widzenia doboru środków techniki maszyn cyfrowych charakteryzuje szerokie stosowanie elementów nieliniowych. W konsekwencji znakomita większość układów jest też nieliniowa. Impulsy przechodzące przez takie układy ulegają znacznym zniekształceniom. Z reguły nie zajmujemy się zapobieganiem tym zniekształceniom, lecz dążymy do ponownego ukształtowania impulsów, co jest możliwe dzięki temu, że kształt ich jest określony przez przebieg impulsów generatora sterującego, tzn. jest w ramach określonej maszyny jak gdyby znormalizowany.

Analityczne badanie przechodzenia sygnałów przez układy nieliniowe jest niezmiernie trudne, w praktyce stosowane jest w bardzo ograniczonym zakresie i daje ograniczone tylko wyniki. Z tego względu opis działania różnych układów, stosowanych w budowie maszyn cyfrowych ma charakter bardziej jakościowy, niż ilościowy.

31. Przerzutniki

Przerzutnikiem będziemy nazywali układ lampowy lub tranzystorowy mający dwa stany równowagi trwałej.

Zasadniczy schemat przerzutnika pokazany jest na rys. 3-1. Jeśli w pewnej chwili przewodzi lewa lampa, to potencjał jej anody względem ziemi jest niski. Siatka prawej lampy jest lekko dodatnia względem



Rys. 3-1. Schemat przerzutnika z dwoma wejściami

ziemi, ale jej katoda jest spolaryzowana bardziej dodatnio napięciem panującym na oporze katodowym, przez który przepływa całkowity prąd lewej lampy. Zatem prawa lampa jest odcięta. Stan taki jest trwały. Jeśli na siatce lewej lampy zjawi się impuls napięcia ujemnego, to potencjał tej siatki, a

zatem i prąd anodowy, zaczął maleć. Tym samym zaczęło wzrastać prąd anodowy prawej lampy, co spowodowało zmniejszenie potencjału jej anody, które poprzez kondensator sprzęgający wpłynęło również na obniżenie potencjału siatki lewej lampy. Proces ten trwa aż do osiągnięcia maksymalnego możliwego prądu przez prawą lampę i odcięcia lewej lampy. O zajściu takiego procesu będziemy mówili, że nastąpił przerzut z lewej lampy na prawą. Przerzut w odwrotnym kierunku następuje pod wpływem impulsu ujemnego przyłożonego do siatki prawej lampy.

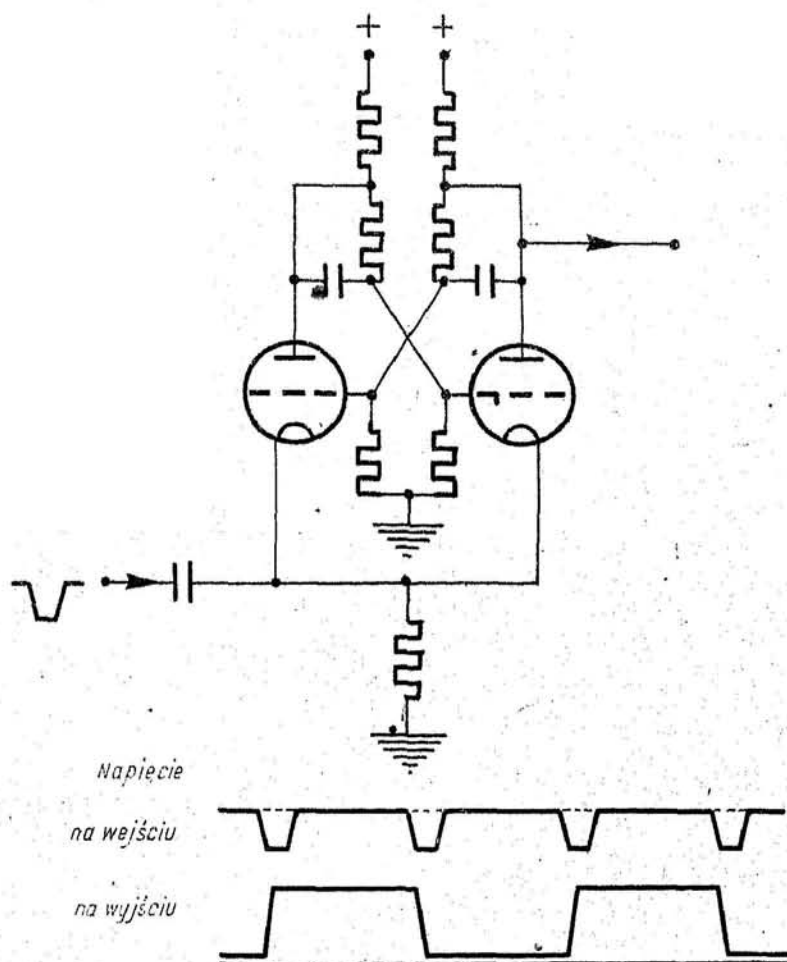
Impulsy powodujące przerzuty będziemy nazywali impulsami sterującymi, punkty zaś układu, do których przykładane są impulsy sterujące, będziemy nazywali wejściami. Dla skontrolowania stanu układu lub dla wykorzystania przerzutów dołączamy się do punktu o potencjale zależnym od stanu. Punkt taki nazywamy wyjściem. Na schemacie pokazanym na rys. 3-1, jako wyjście obrano anodę prawej lampy. Na dole rysunku pokazany jest schemat przebiegu potencjału na wyjściu przy przykładaniu impulsów sterujących na przemian do obu wejść *).

Obok przerzutników z dwoma wejściami istnieją przerzutniki z jednym wejściem. Oba typy mają specyficzne zakresy zastosowań i nie zawsze mogą nawzajem siebie zastępować. Przykład schematu przerzutnika z jednym wejściem pokazany jest na rysunku 3-2. Układ ten działa w sposób następujący.

Przypuśćmy, że w pewnej chwili przewodzi lewa lampa. Impuls przyłożony na opór katodowy wywoła obniżenie potencjału obu katod, a tym samym wzrost potencjału siatki prawej lampy względem katody. Prąd anodowy zaczyna płynąć, potencjał anody obniża się, a tym samym obniża się potencjał siatki lewej lampy. Na skutek tego wzrasta potencjał anody lewej lampy. Wzrost ten poprzez kondensator sprzęgający powoduje zwiększanie się potencjału siatki prawej lampy, co łącznie z obniżeniem potencjału katody powoduje ostatecznie przerzut układu na prawą lampę. Schemat przebiegu napięcia na wyjściu pokazany jest w dolnej części rysunku 3-2.

*) Symboli impulsów na rysunku 3-1 i na dalszych nie należy interpretować, jako wykresy przebiegów chwilowych napięcia, lecz jako symbole graficzne.

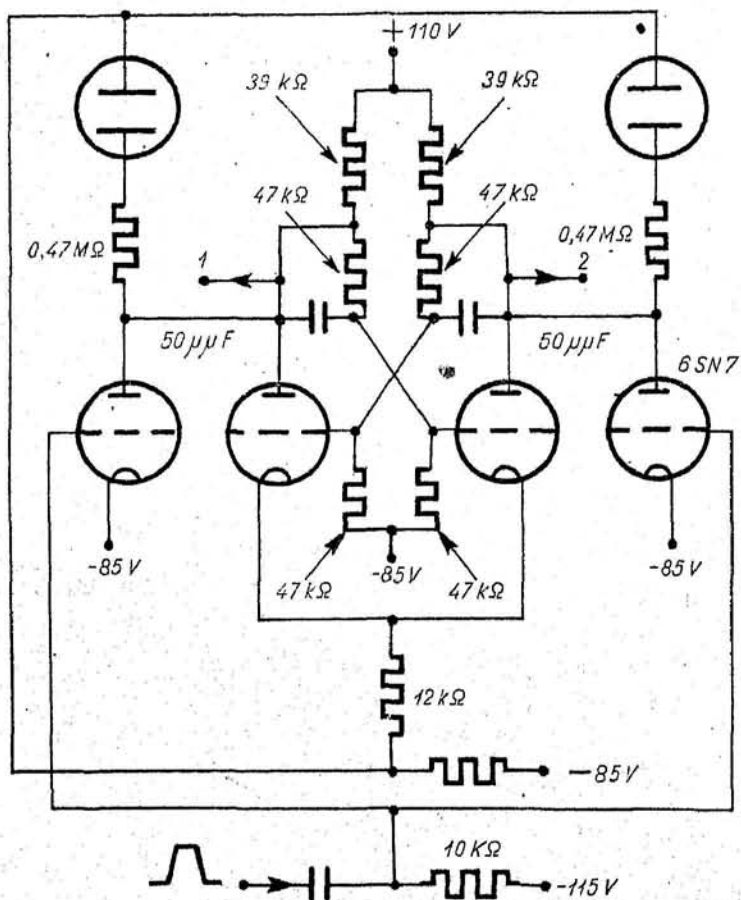
Ważnym szczegółem działania obu opisanych układów jest to, że przerzut następuje z pewnym opóźnieniem w stosunku do impulsu sterującego. Aczkolwiek czas przerzutu jest w przeciętnych konstrukcjach kilkakrotnie mniejszy od czasu trwania impulsu sterującego, okoliczność, że jest on skończony może wymagać uwzględnienia go przy budowie niektórych układów liczących.



Rys. 3-2. Schemat przerzutnika z wejściem na katodę

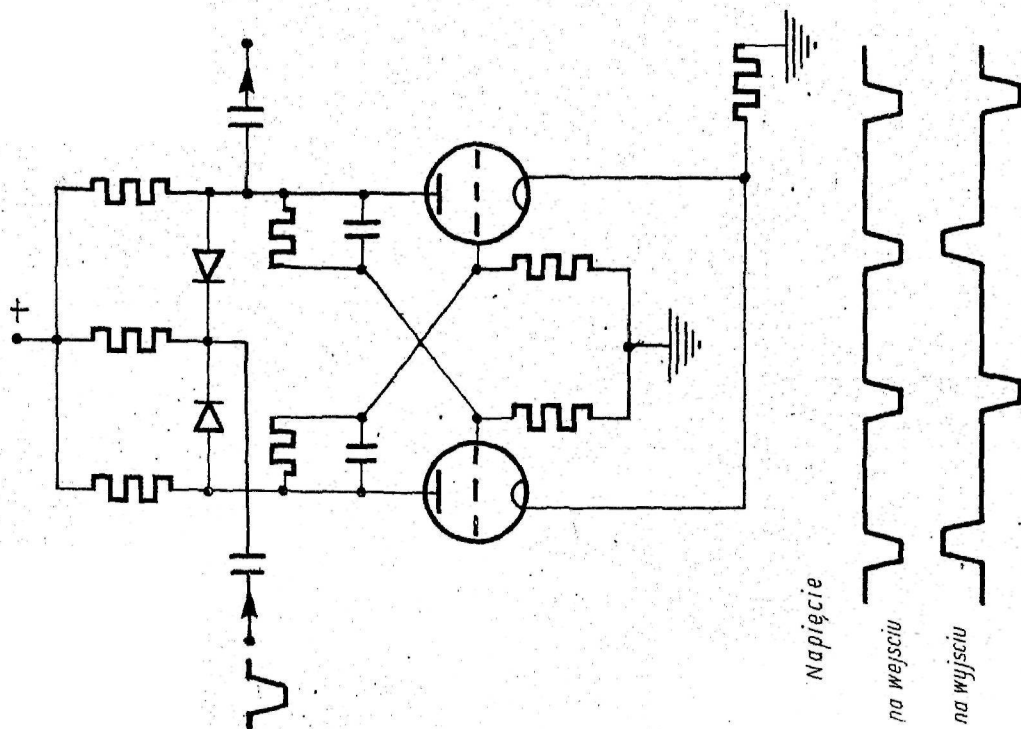
Czas przerzutu jest ograniczony m.in. stałą czasu obwodów wejściowych. Jest to przyczyną, dla której lepiej jest impulsować w obwodzie katody, gdzie stosowane są z reguły mniejsze opory. Poza tym obwody

siatek są obciążone rozproszonymi pojemnościami pochodzącymi od połączeń wewnętrznych przerzutnika, wobec tego dodatkowe dołączanie obwodów doprowadzających impulsy sterujące, składających się czasem ze stosunkowo długich przewodów, jest niewskazane. Ra-

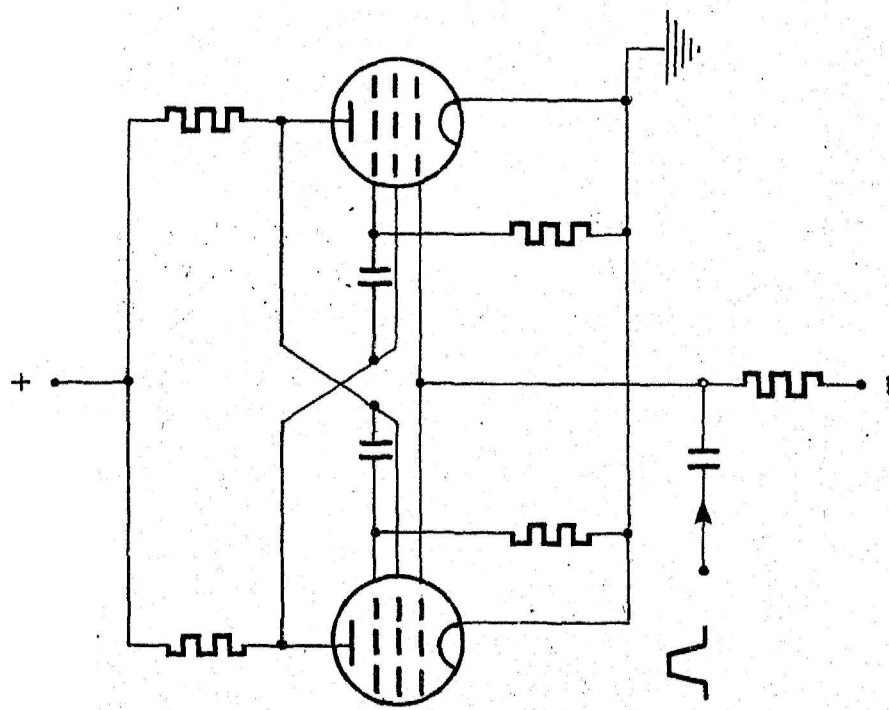


Rys. 3-3. Schemat przerzutnika z wejściem na anody
poprzez lampy pomocnicze

dykalnie rozwiązuje trudności układ o schemacie po-
kazanym na rysunku 3-3: zawiera on dwie lampy głów-
ne - na rysunku wewnętrzne - oraz dwie lampy pomoc-
nicze - na rysunku zewnętrzne. Do siatek lamp pomoc-
niczych jest dołączony, poza oporem siatkowym, tylko
przewód doprowadzający impulsy sterujące; opór siat-
kowy jest mały, wobec czego stała czasu na wejściu
jest też mała. Anody lamp pomocniczych są połączone
z anodami lamp głównych krótkimi przewodami, wobec



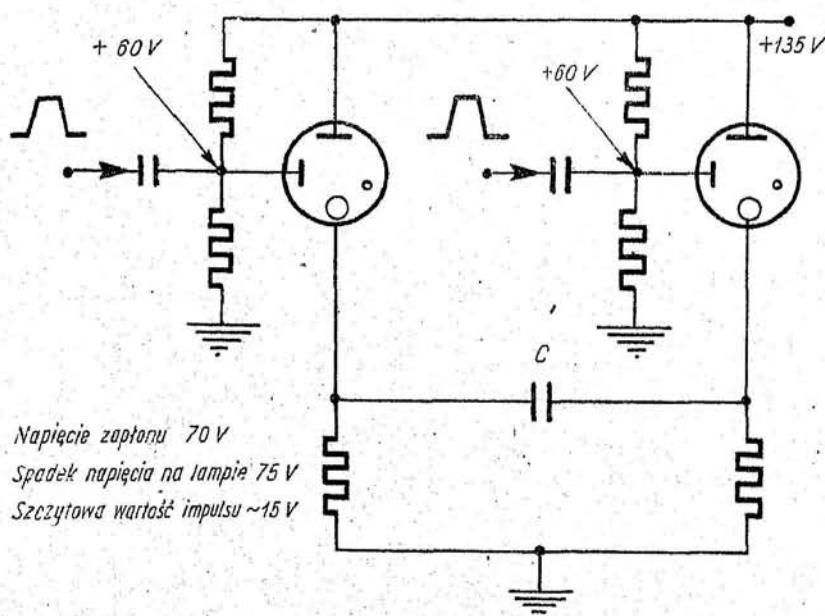
Rys. 3-4. Schemat przerzutnika z bezpośrednim wejściem na anody



Rys. 3-5. Schemat przerzutnika pentodowego

czego pojemności, wprowadzane przez te połączenia są bardzo małe.

W przerwach między impulsami lampy pomocnicze nie przewodzą. Przypuśćmy, że w pewnej chwili przewodzi lewa lampa główna. Impuls dodatni na siatkach lamp pomocniczych powoduje pobór przez nie prądu. Potencjał połączonych ze sobą anod lewych lamp - głównej i pomocniczej - ulegnie stosunkowo nieznacz-
nemu obniżeniu, ponieważ wartość prądu anodowego jest ograniczona oporem anodowym $39\text{ k}\Omega$, potencjał natomiast anod prawych lamp obniży się znacznie. Obniżenie to spowoduje - poprzez kondensator sprzęgający - obniżenie potencjału siatki lewej lampy głównej i w konsekwencji przerzut na prawą lampę. Pokazane na schemacie lampy neonowe wskazują każdorazowy stan przerzutnika. Wartości oporów, kondensatorów i napięć dotyczą przerzutnika zbudowanego przy użyciu duo-triod typu 6SN7. Czas przerzutu wynosi około $1\text{ }\mu\text{s}$.



rys. 3-6. Schemat przerzutnika z tyratronami

Sterować przerzutnikiem można również za pomocą impulsów przykładanych do anod. Przykład rozwiązania pokazany jest na rys. 3-4. Jeśli przewodzi lewa

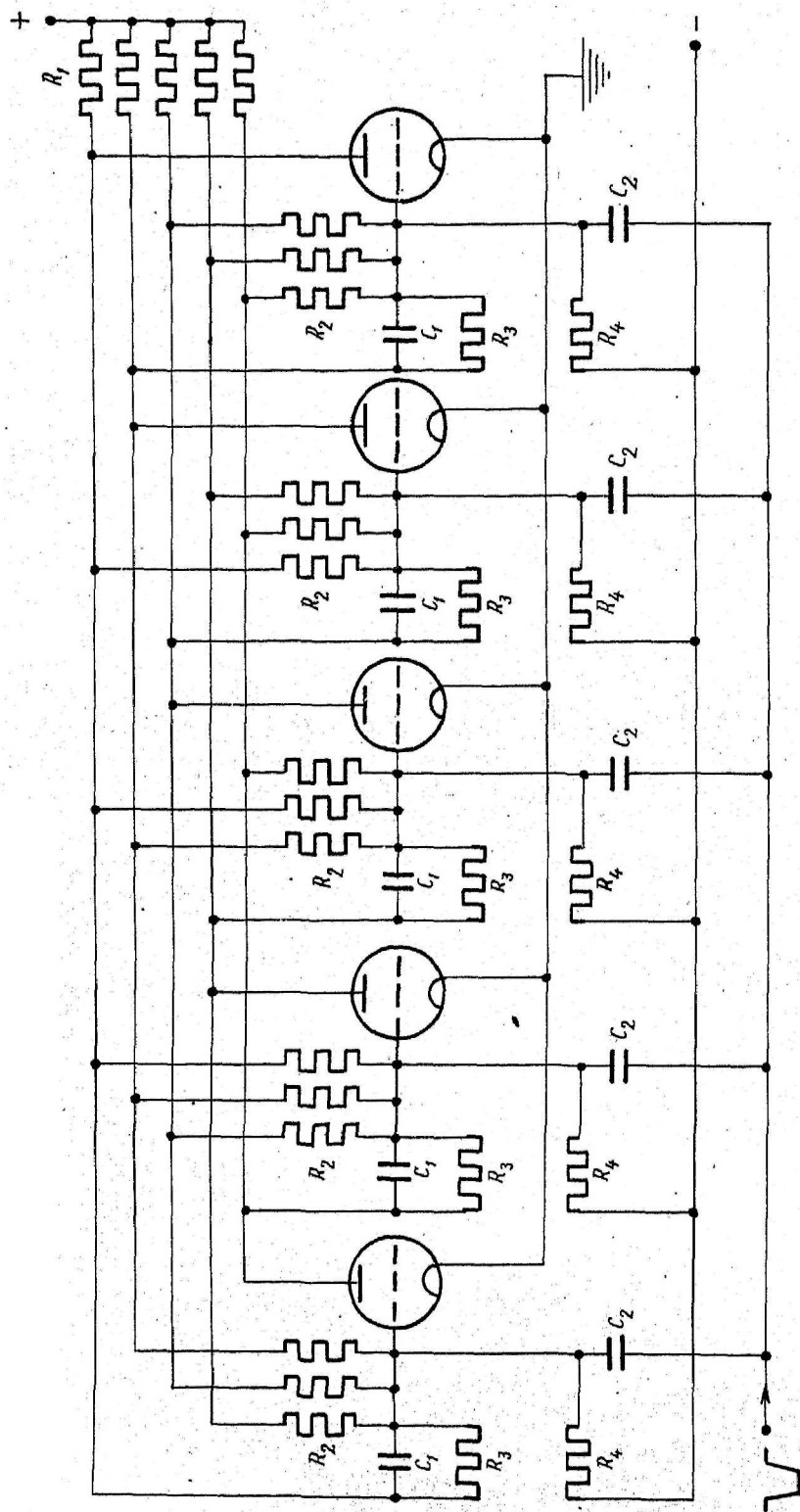
lampa, to potencjał jej anody jest niski, potencjał zaś anody prawej lampy - wysoki. Tym samym lewy prostownik jest spolaryzowany w kierunku zaporowym, prawy - w kierunku przewodzenia. Wobec tego ujemny impuls sterujący, przyłożony na wejściu, obniży potencjał anody prawej lampy oraz siatki lewej lampy i spowoduje przerzut.

Na rysunku 3-5 pokazany jest schemat przerzutnika pentodowego. Zaletą tego układu jest mniejsza liczba elementów, niż w analogicznym układzie z rysunku 3-2.

Przerzutniki można budować również przy użyciu tyratronów. Na rysunku 3-6 pokazane jest jedno z możliwych rozwiązań schematowych. Przypuśćmy, że w pewnej chwili przewodzi lewa lampa. Na lampie zastosowanego typu napięcia między anodą a katodą jest podczas pracy 75 V, zatem potencjał katody jest +60 V. Prawa lampa nie przewodzi, katoda jej ma potencjał ziemi, zatem na kondensatorze C panuje różnica potencjałów 60 V. Potencjał siatki prawej lampy jest utrzymywany za pomocą układu potencjometrycznego na poziomie +60 V. Napięcie zapłonu jest +70 V, wobec czego przyłożenie impulsu dodatniego o wartości szczytowej około 15 V powoduje zapłon. Napięcie na katodzie prawej lampy wzrasta i kondensator C rozładowuje się przez połączone szeregowo opory w katodach. Powoduje to chwilowy wzrost potencjału katody lewej lampy i zmniejszenie napięcia między jej anodą i katodą. W konsekwencji lewa lampa gaśnie. Przyłożenie impulsu dodatniego na siatkę lewej lampy powoduje powrotny przerzut na tę lampę. Ze względu na procesy jonizacji i dejonizacji czas przerzutu jest znacznie większy, niż w przerzutnikach z lampami próżniowymi.

32. Pierścienie liczące

Układ lampowy, mający więcej niż dwa stany równowagi trwałej osiągane w kolejności cyklicznej, nazywa się pierścieniem liczącym. Z punktu widzenia ekonomicznego pożądanym jest, aby pierścień liczący miał tylko po jednej lampie na stan. Schemat układu spełniającego to wymaganie pokazany jest na rys. 3-7 dla przypadku pięciu stanów.



Rys. 3-7. Schemat piętkowego licznika pierścieniowego z jedną lampą na cyfrę



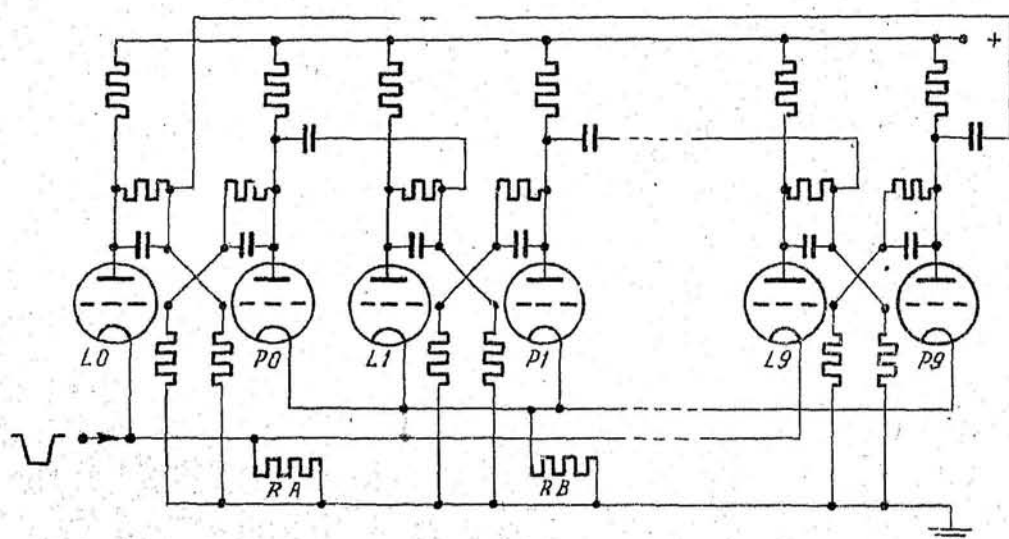
Przypuśćmy, że w pewnej chwili przewodzi pierwsza lampa, pozostałe zaś nie przewodzą. Trwałość takiego stanu opiera się na doborze wartości oporów R_1, R_2, R_3, R_4 oraz wartości napięć zasilających. Siatki lamp od drugiej do piątej są dołączone do plusa baterii przez opory R_1 i do minusa przez opory R_4 . Potencjały tych siatek są ujemne dzięki temu, że pobór prądu przez pierwszą lampę wytwarza dostatecznie duży spadek na oporze R_1 włączonym w jej obwód anodowy (na rysunku jest to opór najniższy): Ujemny impuls sterujący jest przykładany równolegle do siatek wszystkich lamp; wpływa on na wartość prądu anodowego tylko pierwszej lampy, ponieważ pozostałe lampy są odcięte. Prąd anodowy pierwszej lampy maleje, potencjał anody wzrasta, co powoduje - dzięki obecności kondensatora C_1 bocznikującego opór R_3 - wzrost potencjału siatki drugiej lampy. Na skutek tego druga lampa zaczyna przewodzić i polaryzuje ujemnie siatki pozostałych czterech lamp. Następny ujemny impuls sterujący powoduje przerzut z drugiej lampy na trzecią, piątą zaś - z piątej na pierwszą.

Działanie tego pierścienia oparte jest na rozplywie prądów w dość skomplikowanej sieci. Wobec tego liczbę lamp, a zatem i liczbę rejestrowanych przez pierścień stanów, można powiększyć stosunkowo niewiele, gdyż warunek stabilności układu i warunek przerzutu zbliżają się zbyt do siebie. Pierścień o pięciu stanach przy dużej szybkości pracy jest mniej pewny od przerzutnika. Ten brak pewności objawia się w gubieniu impulsów. Lepsze są wobec tego pierścienie złożone z przerzutników, aczkolwiek zawierają one po dwie lampy na stan.

Schemat dziesiętnego licznika pierścieniowego takiego typu pokazany jest na rys. 3-8. Oznaczmy kolejne stany cyframi od 0 do 9. Przypuśćmy, że w pewnej chwili jest zarejestrowany stan 0. Wówczas przewodzi prawa lampa przerzutnika o numerze 0 (tzn. lampa P0) oraz lewe lampy pozostałych przerzutników (tzn. lampy od L1 do L9). Opór R_A jest dziesięciokrotnie mniejszy od oporu R_B . Ponieważ płynie przezeń prąd dziesięciu lamp a przez R_A - prąd jednej, potencjały katod wszystkich lamp są jednakowe.

Impuls sterujący jest przykładany do równolegle połączonych katod lewych lamp wszystkich przerzutników. Nie wpływa on na stan lamp od L1 do L9, które

już przewodzą, ale przez obniżenie potencjału katody lampy L0 powoduje przepływ przez nią prądu anodowego. Na skutek tego potencjał anody tej lampy obniża się, co powoduje odcięcie lampy P0. Rośnie potencjał jej anody, przez co powstaje impuls napięcia dodatniego na siatce lampy P1. Lampa ta zaczyna przewodzić, potencjał jej anody maleje, co powoduje odcięcie lampy L1. W wyniku tych przemian powstaje trwały stan, w którym przewodzi lampa P1 oraz lewe lampy wszystkich pozostałych przerzutników.

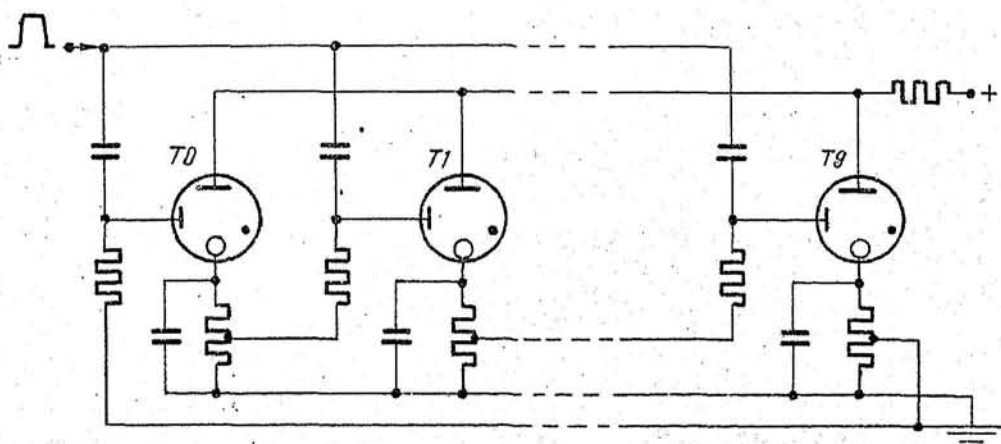


Rys. 3-8. Schemat dziesiętnego licznika pierścieniowego z dwiema lampami na cyfrę

Następne impulsy sterujące powodują kolejno przerzuty na lampy P2, P3 itd., aż do P9, dziesiąty impuls powoduje powrót do stanu początkowego. Pierścienie liczące tego typu okazały w praktyce dużą pewność pracy.

Pierścienie liczące można budować również przy użyciu tyratronów. Odpowiedni schemat pokazany jest na rys. 3-9. Wszystkie lampy są zasilane przez wspólny opór, zaś siatka każdej lampy jest polaryzowana dodatnio prąd płynący przez poprzednią lampę. Przypuśćmy, że w pewnej chwili przewodzi lampa T0. Dodatni impuls sterujący przyłożony jednocześnie na połączone równolegle siatki wszyst-

kich lamp nie będzie miał wpływu na lampy od T2 do T9, gdyż wartość szczytowa napięcia tego impulsu jest mniejsza od napięcia zapłonu. Impuls ten spowoduje jednakże zapłon lampy T1, ponieważ jej elektroda pomocnicza jest spolaryzowana dodatnio napięciem czerpanym z oporu w katodzie lampy IO.



Rys. 3-9. Schemat dziesiętnego licznika pierścieniowego z tyatronami

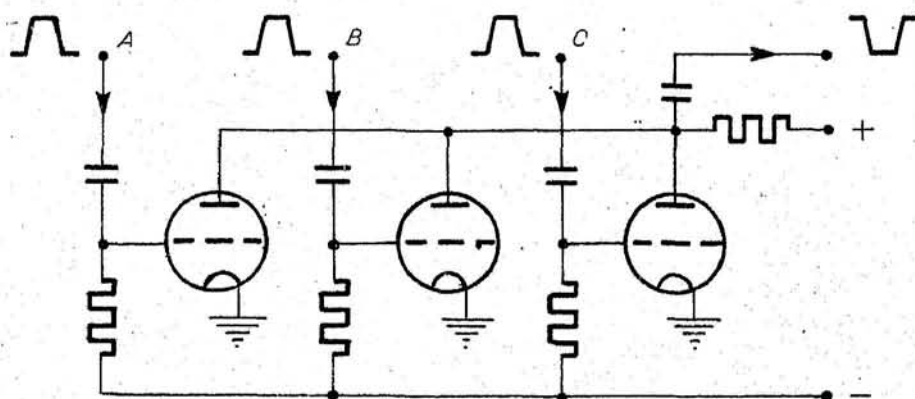
Pobór prądu przez lampę T1 powoduje obniżenie napięcia na anodach wszystkich lamp. Na skutek tego w lampie T0 rozpoczyna się proces dejonizacji. Opór katodowy lampy T0 jest zbocznikowany kondensatorem, tak dobranym, że stała czasu tego układu jest większa od czasu dejonizacji. Wobec tego lampa T0 gaśnie. Zatem impuls sterujący wywołął przerzut z lampy T0 na T1.

Szybkość pracy pierścieni tyatronowych, ograniczona czasem procesów dejonizacyjnych, jest rzędu wielkości kilkudziesięciu tysięcy imp/s, a zatem jest znacznie mniejsza od szybkości, którą bez trudu można osiągnąć w pierścieniach z lampami elektronowymi.

Pierścienie liczące stanowią realizację sumatorów akumulujących, tzn. takich sumatorów, w których wynik działania pozostaje trwale zarejestrowany. Sumatory takie bywają również nazywane akumulatorami.

33. Spójniki

330. Wstęp. Spójnikami będziemy nazywali układy realizujące funkcje zdaniotwórcze. Spójniki realizujące alternatywę będziemy nazywali spójnikami "lub", realizujące koniunkcję - spójnikami "i". Spójniki pierwotnie budowane przy użyciu lamp elektronowych, obecnie buduje się przeważnie przy użyciu prostowników. Pozwala to na wydatne obniżenie poboru prądu, kosztu i objętości maszyn liczących.

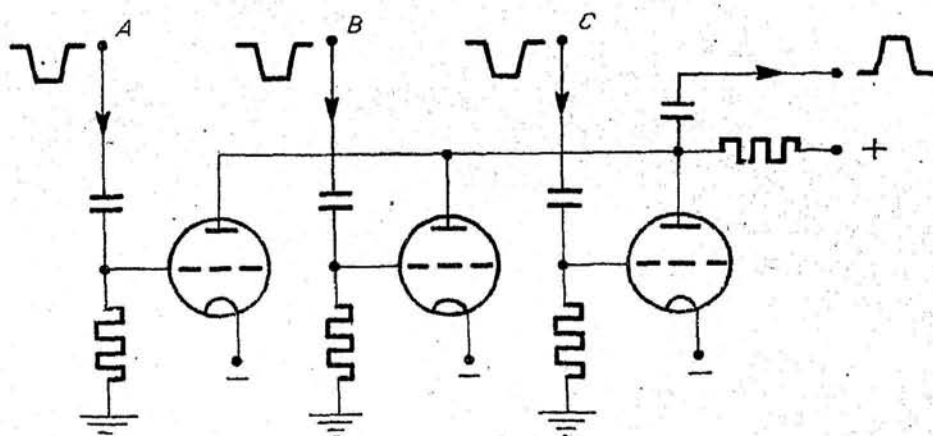


Rys. 3-10. Schemat trójlampowego spójnika "lub", trójargumentowego

331. Spójniki lampowe. Na rysunku 3-10 pokazany jest schemat trójargumentowego, trójlampowego spójnika "lub". Anody są połączone równolegle i przez wspólny opór dołączone do dodatniego bieguna źródła napięcia anodowego, siatki są spolaryzowane ujemnie tak, że prądy anodowe nie płyną. Jeśli impuls dodatni zjawi się na siatce chociażby jednej lampy, to potencjał wszystkich anod obniży się, co ujawni się na zewnątrz w postaci ujemnego impulsu na wyjściu.

Na rysunku 3-11 pokazany jest schemat trójargumentowego, trójlampowego spójnika "i". Siatki są spolaryzowane dodatnio przez połączenie katod z minusem źródła. Prąd anodowy płynie przez wszystkie lampy. Opór przestrzeni anoda-katoda każdej z tych lamp jest mały w stosunku do oporu zasilającego w obwodzie anodowym.

Jeśli impulsy ujemne zjawiają się jednocześnie na siatkach wszystkich trzech lamp, to wszystkie one zostają odcięte i na wyjściu zjawi się impuls dodatni. Impuls taki będziemy nazywali roboczym. Jeśli impuls ujemny zjawi się na siatce jednej tylko lampy, to na wyjściu zjawi się też impuls dodatni ale o mniejszej wartości szczytowej. Ma on charakter impulsu zakłócającego, wobec czego powinien on być tak mały, aby nie powodować działania innych układów w maszynie. Nie jest to warunek dostateczny dla wyznaczenia wartości parametrów rozpatrywanego układu, ponieważ impuls zakłócający będzie większy, jeśli impulsy sterujące zjawiają się jednocześnie na dwóch wejściach. Ogólnie biorąc układ spójnika "i" o n argumentach powinien być tak zaprojektowany, aby impuls zakłócający był dostatecznie mały przy

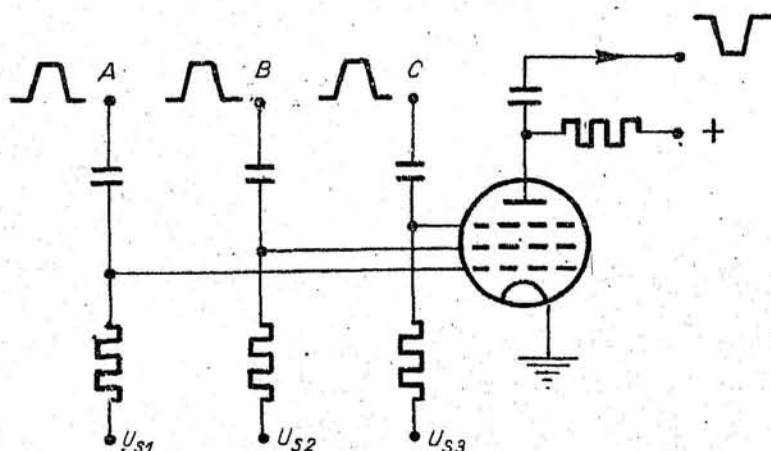


Rys. 3-11. Schemat trójlampowego spójnika "i", trójargumentowego

zjawieniu się impulsów sterujących jednocześnie na $n-1$ wejściach, to znaczy, aby szczytowa wartość impulsu zakłócającego nie przekraczała kilku procent szczytowej wartości impulsu roboczego.

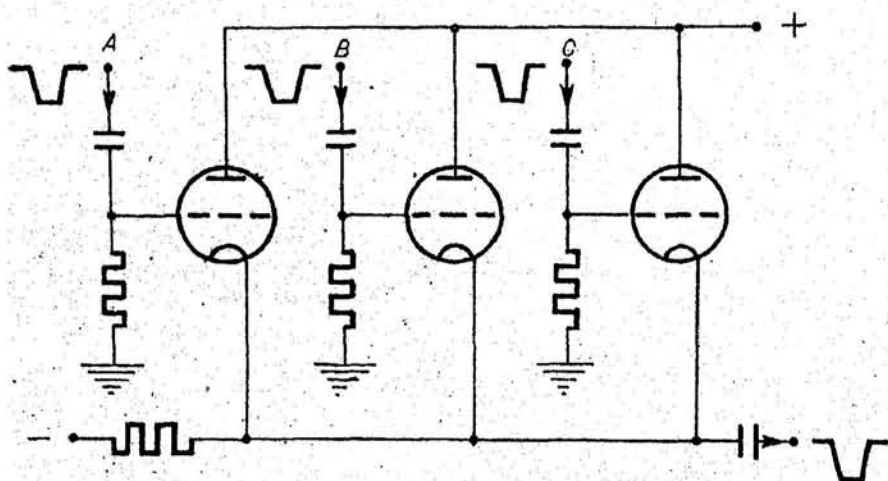
Trójargumentowy spójnik "i" można zrealizować również przy użyciu lampy trójsiatkowej w układzie pokazanym na rys. 3-12. Praktyczne stosowanie układu napotyka na trudności wynikające z tego, że w lampach trójsiatkowych ogólnie dostępnych współczynniki amplifikacji każdej z trzech siatek są różne.

Omówione dotychczas spójniki mają tę wspólną wadę, że odwracają znak impulsu, co może wymagać stosowania specjalnych środków zaradczych. Wady tej nie ma spójnik "i" zbudowany w układzie wtórnika katodowego podług schematu pokazanego na rys. 3-13.



Rys. 3-12. Schemat spójnika "i", trójargumentowego z lampą trójsiatkową

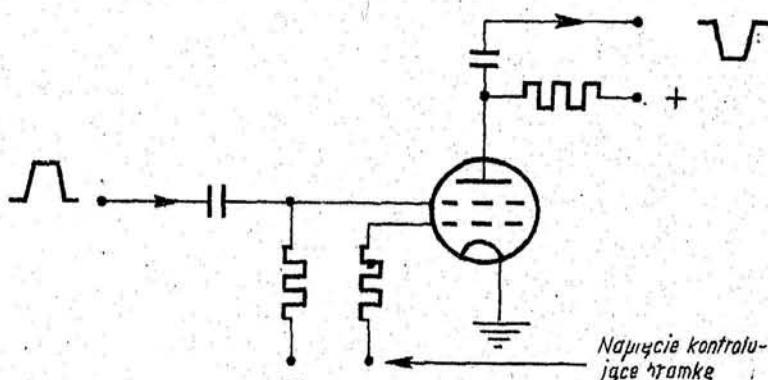
Wspólny opór zasilający jest tu włączony od strony równolegle połączonych katod. Wszystkie lampy normalnie przewodzą a impuls roboczy na wyjściu - im-



Rys. 3-13. Schemat trójlampowy spójnika "i", trójargumentowego, w układzie wtórnika katodowego

puls ujemny - powstaje tylko wówczas, gdy wszystkie trzy lampy zostają odcięte przez przyłożenie jednocześnie impulsów ujemnych na siatki.

Bardzo bliskie schematowo spójnikom "i" są układy zwane brankami. Bramka jest układem z dwoma wejściami i z jednym wyjściem. Impuls roboczy na wyjściu pojawia się tylko wówczas, gdy zostaje przyłożony impuls sterujący na jednym z wejść, drugie zaś zostało spolaryzowane - na ogół biorąc uprzednio - odpowiednio dobranym napięciem. Napięcie to będziemy nazywali napięciem kontrolującym bramkę. Jeśli napięcie to ma taką wartość, że na wyjściu może powstać impuls roboczy, to będziemy mówili, że bramka jest otwarta, jeśli napięcie kontrolujące bramkę ma wartość uniemożliwiająca powstanie impulsu roboczego na wyjściu, będziemy mówili, że bramka jest zamknięta.

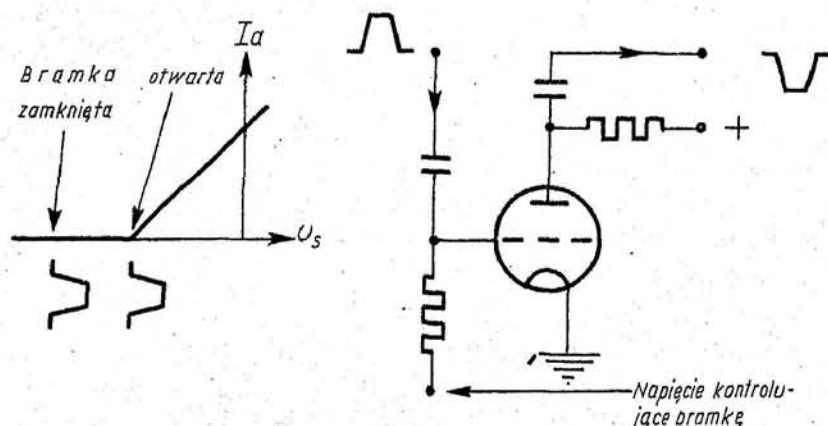


Rys. 3-14. Schemat bramki z lampą dwusiatkową

Na rysunku 3-14 pokazany jest schemat bramki z lampą dwusiatkową. Jeśli nie ma impulsu, lampa nie przewodzi niezależnie od tego, czy napięcie kontrolujące bramkę, przyłożone w danym przypadku do siatki wewnętrznej, jest takie, że bramka jest otwarta, czy takie, że bramka jest zamknięta. Jeśli napięcie to jest dostatecznie silnie ujemne, to przyłożenie impulsu sterującego - stosujemy w tym układzie impulsy dodatnie - nie wywoła przepływu prądu przez lampę. Jeśli napięcie na siatce wewnętrznej jest mniej ujemne lub też jest dodatnie - (właściwa wartość zależy od charakterystyk lampy i od punktu pracy), to impuls dodatni na siatce zewnętrznej wy-

woła przepływ prądu przez lampę i ujemny impuls roboczy na wyjściu.

Bramkę można zbudować również przy użyciu lampy jednosiatkowej w układzie pokazanym na rys. 3-15. W tym przypadku napięcie kontrolujące bramkę jest napięciem początkowym siatki. Jeśli napięcie to ma



Rys. 3-15. Schemat bramki z lampą jednosiatkową

dostatecznie dużą wartość ujemną, to bramka jest zamknięta. Dla otwarcia bramki napięcie początkowe na siatce powinno przyjąć taką wartość, aby punkt pracy wypadł na początku dolnego zakrzywienia charakterystyki, jak to jest schematycznie pokazane po lewej stronie rys. 3-15.

332. Spójniki prostownikowe. Na rysunku 3-16 pokazany jest schemat trójargumentowego spójnika "lub". Jedyną rolą prostowników w tym układzie jest zabezpieczenie od przechodzenia impulsów z jednego wejścia na drugie, np. z wejścia A na B lub C.

Na rysunku 3-17 pokazany jest schemat zasadniczy trójargumentowego spójnika "i". Układ stale pobiera prąd, który płynie od punktu o dodatnim potencjale U przez opór R , prostowniki i opory R_1 do ziemi. Opór R jest znacznie większy od oporu szeregowo połączonych: prostownika i oporu R_1 . Wobec tego tylko nieznaczna część napięcia U panuje na wyjściu.