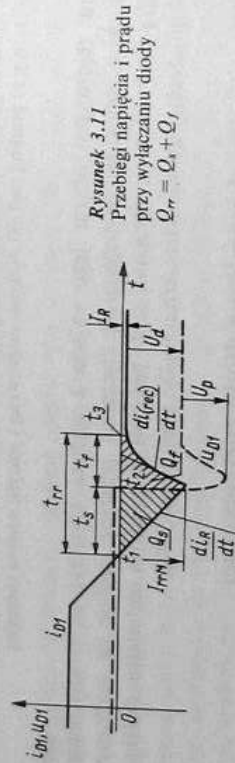


na zwiększony opór wynikający z braku dostatecznej ilości nośników w obszarze struktury (złącza). Dotyczy to w szczególności stosunkowo szerokiej warstwy zubożonego w domieszkę półprzewodnika, która to warstwa musi być dobrze „nasycona” nośnikami, aby na przewodzącej diodzie wystąpił mały spadek napięcia odpowiadający ustalonej charakterystyce napięciowo-prądowej dla stanu przewodzenia. Pokazany na rysunku 3.10b przebieg napięcia przy załączaniu diody, w której szybko narasta prąd przewodzenia, stanowi potwierdzenie opisanego zjawiska. Należy zaznaczyć, że zjawisko zwiększonego spadku napięcia na diodzie przy jej załączaniu nie jest w praktyce szczególnie znaczące. Przy stromościach narastania prądu rzędu kilkuset A/μs napięcie przewodzącej diody  $U_{rmax}$  może wynosić 10–30 V przy czasie trwania pojedynczych mikrosekund. Tylko przy bardzo dużej częstotliwości łączeń do dokładnego wyznaczenia strat mocy w diodzie konieczne jest uwzględnienie wzrostu napięcia przy załączaniu.

Proces wyłączenia diody (rys. 3.11) rozpoczyna się po ponownym zamknięciu łącznika Ł1. Pod wpływem napięcia  $U_d$  doprowadzonego do gałęzi zawierającej diodę D1 i indukcyjność  $L_k$  następuje zmniejszanie się prądu w diodzie do zera. Na skutek



Rysunek 3.11  
Przebiegi napięcia i prądu  
przy wyłączeniu diody  
 $Q_{rr} = Q_r + Q_f$

obecności znacznej ilości nośników w obszarze złącza diody narasta prąd w zmienionym kierunku aż do momentu  $t_2$ , gdy ładunek nadmiarowy  $Q_s$  zostanie wyczerpany. Poczwszy od tej chwili prąd zmniejsza się do wartości maksymalnej  $I_{rM}$  do wartości odpowiadającej wstępnemu prądowi ustalonemu  $I_R$ , a ładunek odprowadzony w przedziale czasu  $t_2 \rightarrow t_3$  określa się mianem ładunku resztkowego  $Q_f$ . Suma  $Q_s$  i  $Q_f$  stanowi ładunek przejściowy  $Q_{rr}$ . Na wyłączonej diodzie utrzymuje się dodatnie napięcie do czasu  $t_2$ , tj. do chwili zaniku nośników nadmiarowych. Następnie napięcie do odzyskuje właściwości zaporowe i przejmuje zewnętrzne napięcie  $U_d$ . Ponieważ prąd związany z odprowadzaniem ładunku resztkowego zanika bardzo szybko, to na indukcyjności  $L_k$  pojawia się dodatkowe napięcie samoindukcji  $U_L$  dodające się do napięcia  $U_d$ . W konsekwencji na diodzie pojawia się przepięcie  $U_p$  osiągające wartość napięcia wyższą od napięcia zasilania, mogące spowodować jej zniszczenie.

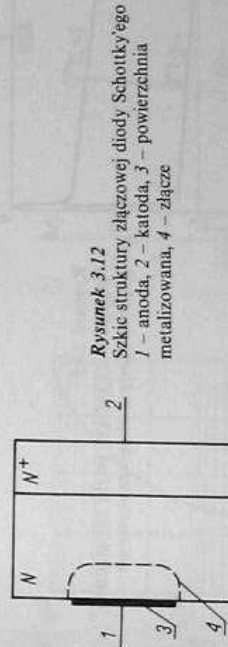
Występowanie przejściowego prądu wstępnego przy wyłączeniu diody jest dużą wadą. Powoduje bowiem zmniejszenie efektywności prostowania oraz zwiększenie strat mocy wydzielanych w przyrządzie w przypadku wysokich częstotliwości łączeń (już od kilku kiloherców). W takich układach mają zastosowanie tzw. diody szybko przelączające (z ang. fast switching diodes), które cechują możliwość małe wartości czasu odzyskiwania zdolności zaporowej  $t_{rr}$  i co się z tym wiąże – małe wartości ładunku przejściowego  $Q_{rr}$  wyznaczanego jako całka wstępnego prądu przejściowego  $i_{rr}$  w przedziale  $t_3 - t_1 = t_{rr}$ . Inną znaczącą właściwością diod jest charakter przebiegu prądu wstępnego w drugim przedziale odzyskiwania właściwości zaporowych ( $t_3 \rightarrow t_2$ ). Jeżeli prąd pochodzący od ładunku resztkowego zanika bardzo szybko, to na diodzie może wystąpić znaczne przepięcie. Mówi się wtedy o diodach wyłączających „twardo”

(z ang. hard recovery diodes) w odróżnieniu od specjalnie przygotowywanych typów charakteryzujących się wolnym zanikaniem wstępnego prądu przejściowego, a więc wyłączeniem „miękkim” (z ang. soft recovery diodes).

### 3.2.4. Diody specjalne

Dioda Zenera jest to dioda, której charakterystyka w kierunku wstępnym jest ukształtowana pod wpływem występującego w złączu zjawiska polegającego na szybkim zwiększaniu się nośników ładunku wywołanego tunelowym przeniesieniem się elektronów z pasma podstawowego atomów struktury krystalicznej do pasma przewodzenia. Podstawą do występowania wywołanego takim zjawiskiem prądu Zenera jest odpowiednio duże natężenie pola w stosunkowo silnie domieszkowanych warstwach P i N strefy przyłączkowej. Zwykle przebicie Zenera występuje w złączu jednocześnie z przebiciem lawinowym, przy czym w diodach o stosunkowo niewielkich wartościach napięcia przebicia (rzędu kilku woltów) zdecydowanie dominuje to pierwsze i dlatego te diody należałoby uznać za „prawdziwe” diody Zenera. Przy wyższych wartościach napięcia załamania wstecznej charakterystyki diody, większe znaczenie zaczyna odgrywać zjawisko przebicia lawinowego. Diody Zenera wykonuje się na napięciu od kilku do kilkuset (200) woltów. Głównym ich przeznaczeniem w energoelektronice jest ograniczanie napięć na zabezpieczanych przez nie elementach i układach.

Dioda lawinowa jest przeznaczona do pracy w zakresie części charakterystyki napięciowo-prądowej stanu zaporowego, która dla diody zwykłej nie jest dozwolona z uwagi na możliwość zniszczenia jej przez przebicie (rys. 3.7). Stosując specjalną technologię zapewniającą jednorodność struktury złączonej, uzyskuje się równomierny rozplyw prądu w stanie przebicia na dużych obszarach złącza. Dzięki temu – o ile nie przekroczy się szczytowej ani średniej dopuszczalnej mocy strat – dioda nie zostanie trwale uszkodzona. Diody typu lawinowego, podobnie jak Zenera, są stosowane jako ograniczniki zabezpieczające przed przepięciami nawet powyżej 1000 V. Znajdują też zastosowanie jako diody prostownicze odporne na przepięcia.



Rysunek 3.12  
Szkic struktury złączonej diody Schottky'ego  
1 - anoda, 2 - katoda, 3 - powierzchnia metalizowana, 4 - złącze

Dioda Schottky'ego jest tworzona przez pokrycie materiału półprzewodnikowego, zwykle typu N, cienką powłoką metalową. Powstaje w ten sposób złącze metal-półprzewodnik, które wykazuje zbliżone cechy do złącza PN. Budowę wnętrza diody Schottky'ego pokazano na rys. 3.12 w postaci szkicu przekroju poprzecznego. Bezpośredni kontakt warstwy metalu z półprzewodnikiem wywołuje – podobnie jak w złączu warstwowym – zjawisko uciekania elektronów z obszaru półprzewodnika do metalu. Przyczynę tego można w uproszczeniu wyjaśnić tym, że nośniki w materiale N mają wyższy potencjał elektryczny niż w metalu i dlatego więcej elektronów przepływa z półprzewodnika do metalu niż odwrotnie. W konsekwencji powstaje warstwa ładunku przestrzennego wytwarzająca barierę potencjału. Przy polaryzacji