

Elektronika w eksperymencie fizycznym		Rok akademicki 2012-2013
Środa 14.15-17.00	Justyna Ilczuk Jacek Rosiński	Wykonane w dniu 17.04.2013
Ćwiczenie 8	Elementy i układy przełączające	Ocena:

1 Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia było poznanie parametrów przełączników elektrycznych oraz zasad działania elektronicznych układów przełączających.

2 Użyty sprzęt i układy pomiarowe

Hardware:

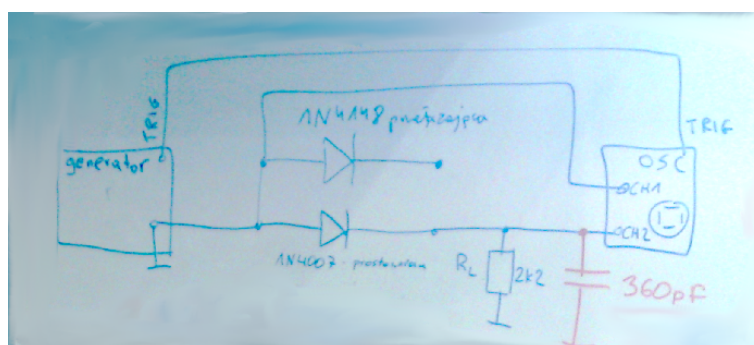
- komputer PC
- Elvis II+
- Oporniki o odpowiednich wartościach,
- Multimetr METEX M3610,
- Tranzystor,
- Diody: prostownicza 1N4007 i przełączająca 1N4148
- Przełącznik elektromechaniczny
- Kondensatory: C i C_L ,

Software:

- oprogramowanie od National Instruments do pomiarów na Elvisie

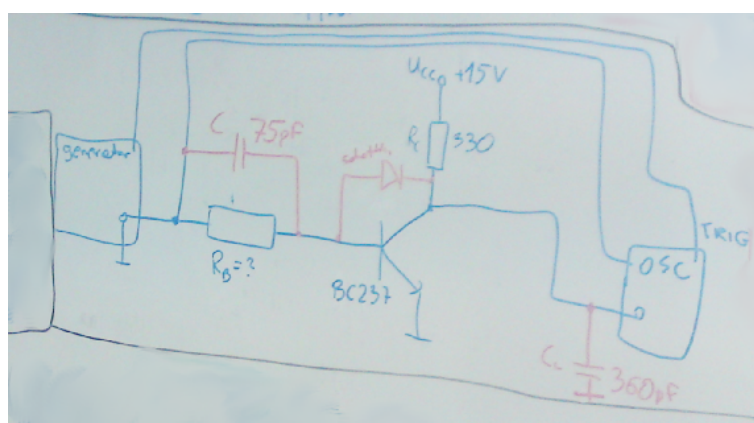
3 Wstęp teoretyczny

Idalnym przełącznikiem można określić takie urządzenie, podczas włączenia posiada zerową oporność, zaś podczas wyłączenia jego oporność w nieskończenie małym czasie zmienia się na nieskończoną. W układach rzeczywistych taka sytuacja nie ma miejsca. Przełączniki podczas włączenia posiadają oporność, zaś podczas wyłączenia przepływa przez nie niewielki prąd. Ponadto przełącznik posiada swoją pojemność. Stąd bierze się sporo efektów niepożądanych, które to badamy w tym doświadczeniu. W naszym doświadczeniu jako przełącznikiem posługiwaliśmy się układami:



Rysunek 1: Układ 1

Gdzie badaliśmy dwie diody podpisane na schemacie. Dzięki otrzymanym tak przebiegom można wyznaczyć czas wyłączenia $t_{OFF} = t_1 + t_2$ (rysunek 3) diody, a także oszacować największą częstotliwość, przy której dioda przestaje pracować jako przełącznik. Układ pobudzamy sygnałem prostokątnym o częstotliwości $50kHz$ i napięciu $V_{pp} = 5V$.



Rysunek 2: Układ 2

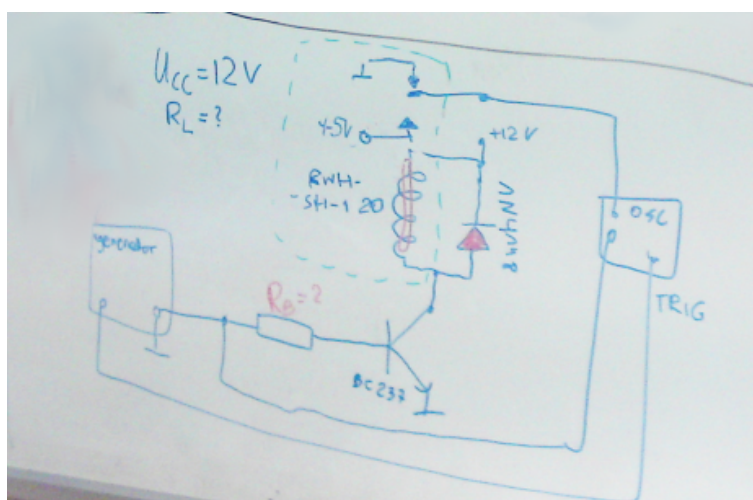
Układu drugiego użyliśmy, aby badać wpływ elementów oznaczonych na kolor czerwony w naszym układzie pobudzonym sygnałem prostokątnym. Opór R_B został wyznaczony następująco:

$$V_{pp} = 3,5V, f = 50kHz, U_c = 15V, \beta = 100, I_c = \frac{U_{cc}}{R_c}, U_{BE} = 0,7V$$

$$I_c = \beta \cdot I_B, U_{CE} = 0,1V, R_B = \frac{U_g - U_{BE}}{I_B}$$

$$R_B = \frac{3,5 - 0,7}{15} \cdot 330 \cdot 100 = 6160\Omega$$

Wybraliśmy opornik najbliższy pożądanej wartości, czyli $6k2$.



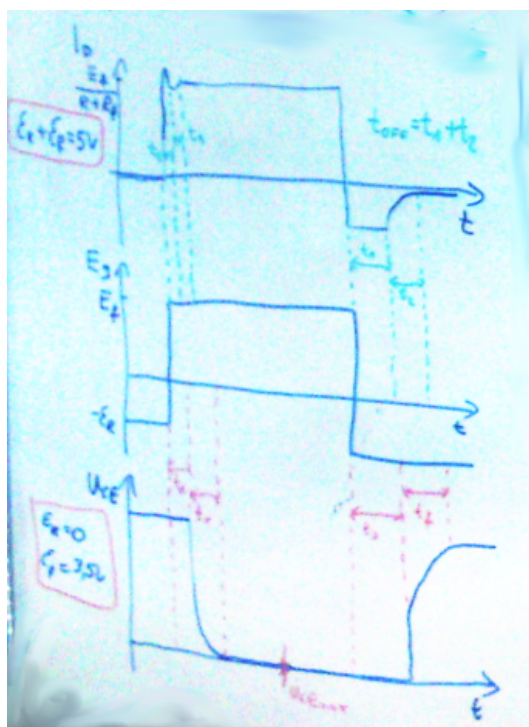
Rysunek 3: Układ 3

Układ trzeci, przełącznik elektromechaniczny, pobudzamy początkowo częstotliwością 3Hz i napięciem $V_{pp} = 3,5\text{V}$. Dodatkowo do układu doprowadzamy napięcie $U_{cc} = 12\text{V}$. Z pomiaru omomierzem otrzymujemy opór cewki $R_L = 406\Omega$, który posłuży do obliczenia oporu R_B . Poza tym drobnym szczegółem obliczenia wyglądają analogicznie.

$$R_B = \frac{3,5 - 0,7}{12} \cdot 406 \cdot 100 = 9473,3\Omega$$

Wybraliśmy opornik najbliższy pożądanej wartości, czyli $9\text{k}\Omega$.

Ważnym momentem w analizie odpowiedzi układu jest zbadanie czasów zmiany sygnału czyli na przykład



Rysunek 4: Przykładowe sygnały i zaznaczone w nich sektory interesujące

4 Opracowanie wyników

4.1 Badanie diod jako przełączników

Na początku (w części pierwszej) badaliśmy układy przełączające z diodami, poniżej przedstawiamy zmierzone przebiegi dla częstotliwości 50 kHz.

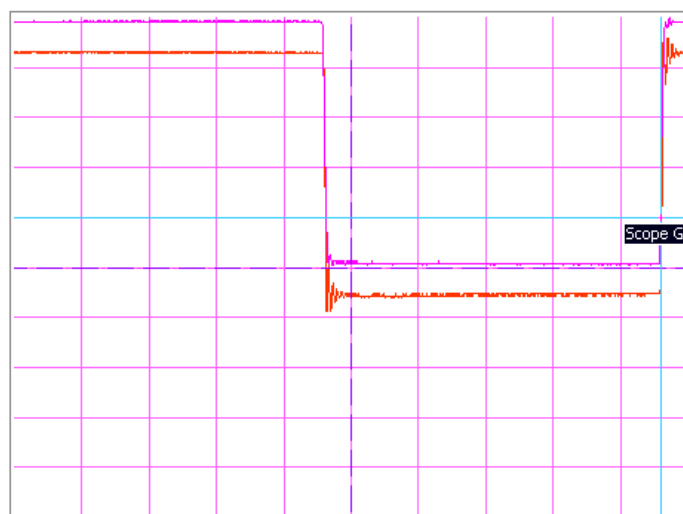
Na poniższych rysunkach 1 kratka pozioma oznacza $2\mu s$.

W podpisach rysunków używamy E_F i E_R oraz U_{max}

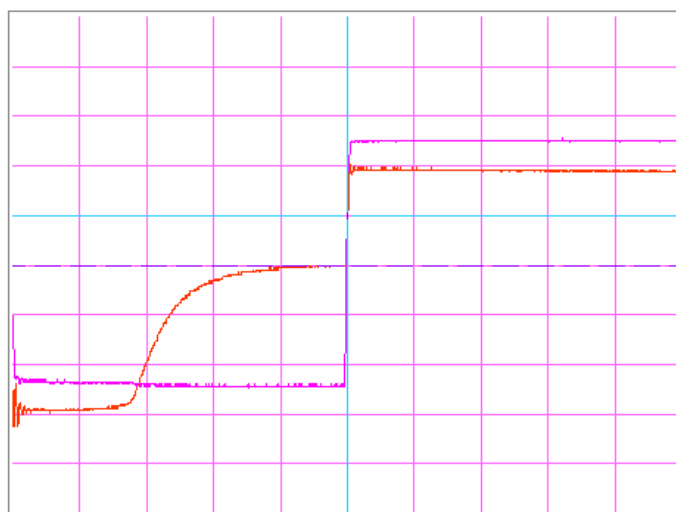
$$U_{max} = E_F - E_R = 5V_{p-p}$$

Żeby się nie powtarzać: przy pomiarze czasów występuje niepewność, wynikająca z odczytu pomiaru, którą szacujemy na 1/10 podziałki, co w praktyce oznacza w przełożeniu na używane przez nas jednostki, że niepewność ta dla każdego odczytu czasu wynosi $0.2\mu s$.

Dla diody prostowniczej:

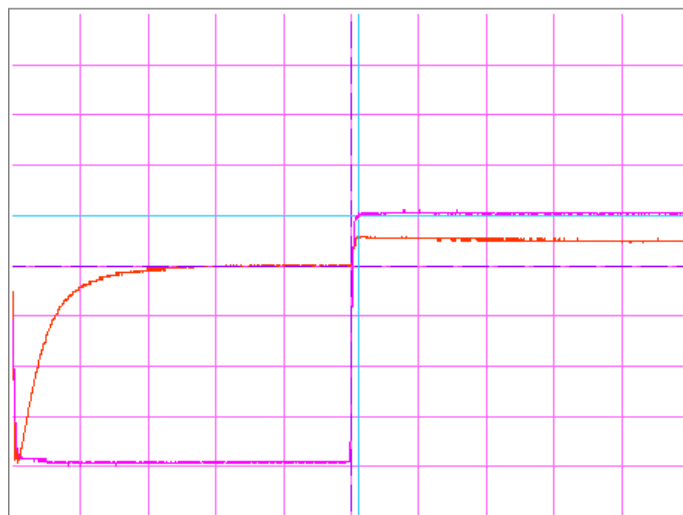
Rysunek 5: $E_F = U_{max}$, $E_R = 0V$

Dla tego przypadku t_{off} praktycznie można pominąć, bo nie sposób wyznaczyć go na podstawie przebiegu.

Rysunek 6: $E_F = 0.5U_{max}$, $E_R = -0.5U_{max}$

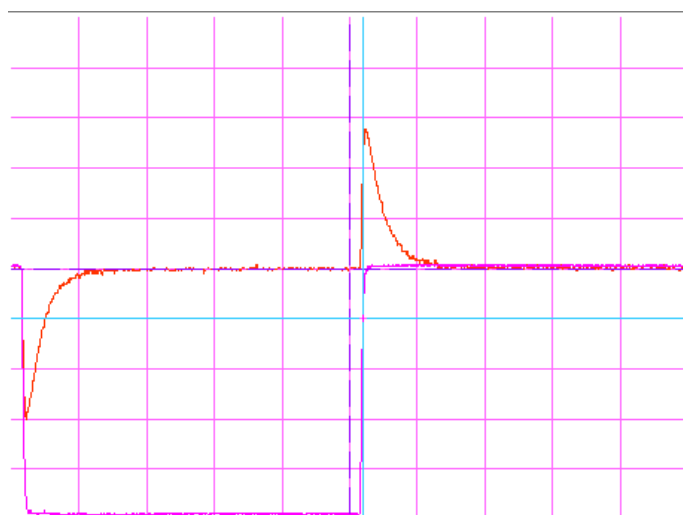
Gdy zmieniliśmy offset napięcia tak, że przełącznik był wyłączany napięciem - 2.5 V, sytuacja zdecydowanie się zmieniła i zaobserwowaliśmy następujące czasy wyłączania diody:

$$t_1 = 3.6\mu s, t_2 = 4.4\mu s, t_{off} = 8\mu s.$$

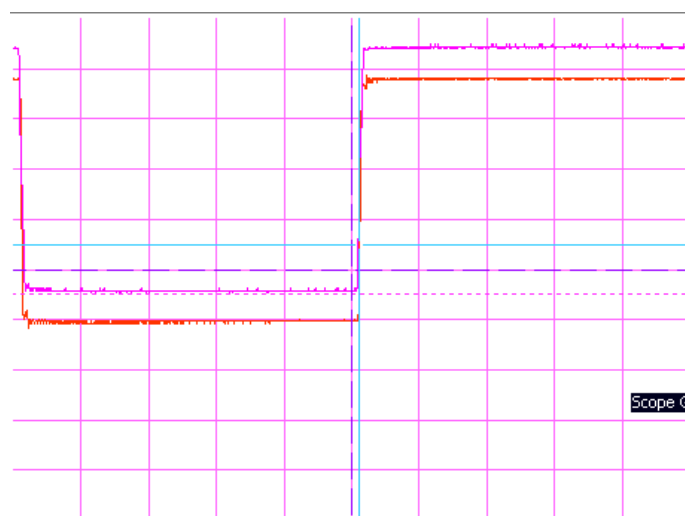
Rysunek 7: $E_F = 1V$, $E_R = -4V$

Dalej zmieniając offset, zauważamy, że charakterystyka przebiegu się zmienia i że t_1 , traci kosztem t_2 :

$$t_1 = 0\mu s, t_2 = 5\mu s, t_{off} = 5\mu s.$$

Rysunek 8: $E_F = 1V$, $E_R = -4V$

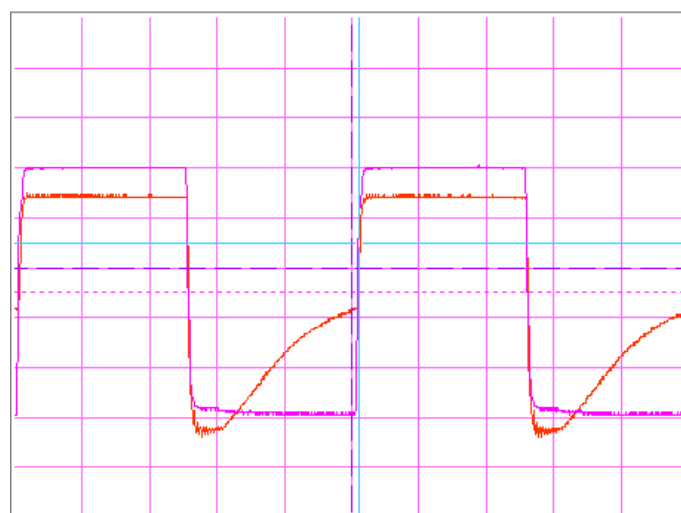
Dalej zmieniając offset, tak że napięcie sterujące jest mniejsze, równe 0V, obserwujemy, że dioda nie zachowuje się już jako przełącznik.



Rysunek 9: $E_F = U_{max}$, $E_R = 0V$ z dołączonym kondensatorem $C_L = 360pF$

Ten układ różni się od pierwszego jedynie dołączonym kondensatorem $C_L = 360pF$. Nie dziwi zatem, że jego odpowiedź jest bardzo podobna do pierwszego układu, jeśli chodzi o różnice to, można zauważyć, że oscylacje na diodzie są mniejsze, ale poza tym jest praktycznie identycznie i czas wyłączenia diody jest podobnie mały, tak że nie ma sensu go mierzyć.

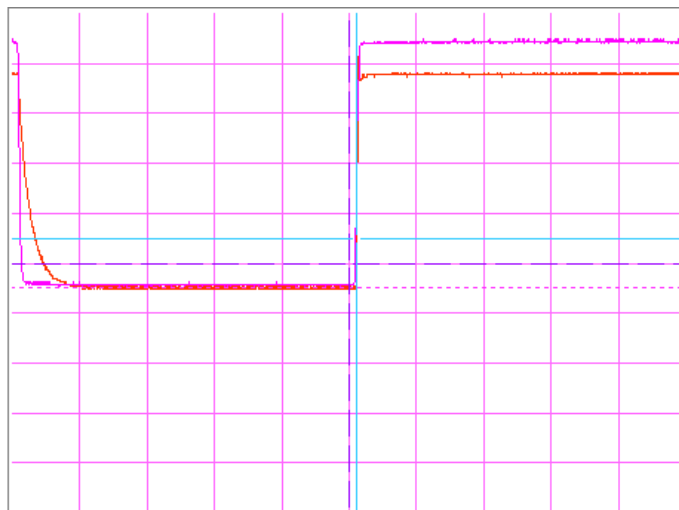
Wszystkie poprzednie pomiary były przeprowadzone dla częstotliwości 50 kHz. Naszym kolejnym zadaniem było oszacowanie najmniejszej częstotliwości, przy której dioda przestaje pracować jako przełącznik.



Rysunek 10: $E_F = U_{max}$, $E_R = 0V$ dla częstotliwości 99 kHz

Powyższy przebieg wyraźnie wskazuje, że dioda nie pracuje tu już jako przełącznik ponieważ cały czas płynie przez nią prąd w dwie strony i nie ma chwili, kiedy prąd przez nią nie płynie, czyli ani przez chwilę nie jest naprawdę wyłączona.

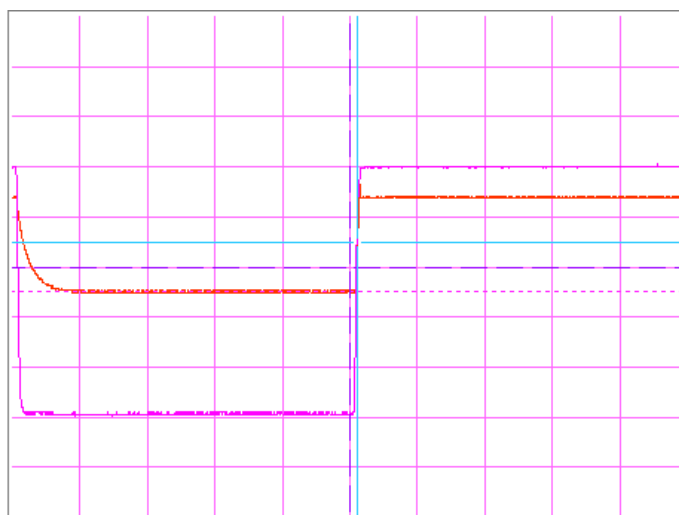
Analogiczne badania przeprowadziliśmy dla diody impulsowej.



Rysunek 11: $E_F = U_{max}$, $E_R = 0V$

Dla tego przypadku t_{off} jest stosunkowo niewielki.

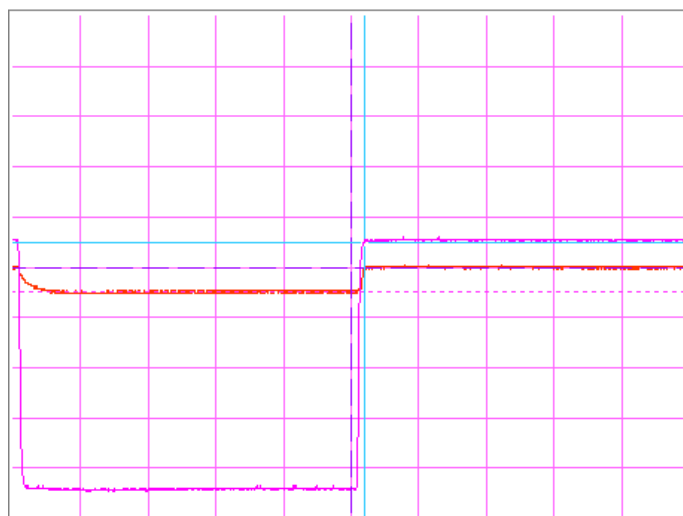
$$t_1 = 0\mu s, t_2 = 1.2\mu s, t_{off} = 1.2\mu s.$$



Rysunek 12: $E_F = 0.5U_{max}$, $E_R = -0.5U_{max}$

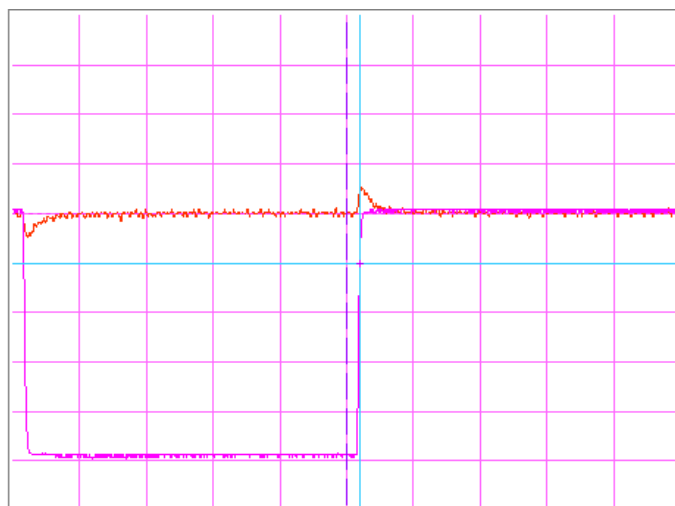
Gdy zmieniliśmy offset napięcia tak, że przełącznik był wyłączany napięciem - 2.5 V, czas wyłączania diody praktycznie nie uległ zmianie:

$$t_1 = 0\mu s, t_2 = 1.2\mu s, t_{off} = 1.2\mu s.$$

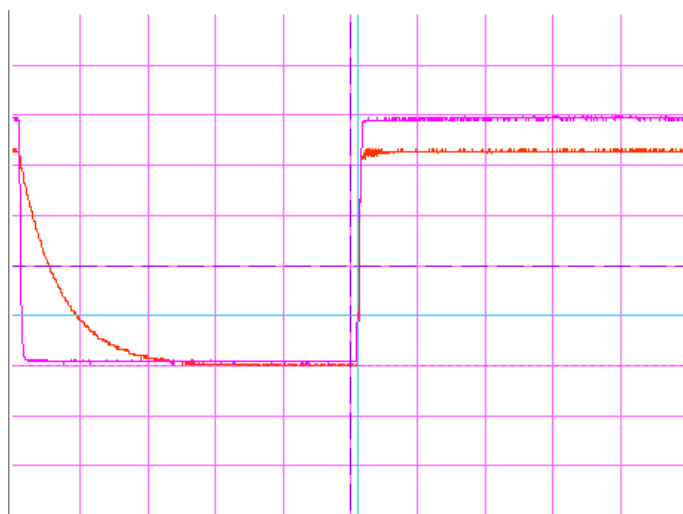
Rysunek 13: $E_F = 1V$, $E_R = -4V$

Dalej zmieniając offset, zauważamy, że zakres napięcia w którym przełącza dioda jest coraz mniejszy, czasy oszacowaliśmy następująco:

$$t_1 = 0\mu s, t_2 = 0.8\mu s, t_{off} = 0.8\mu s.$$

Rysunek 14: $E_F = 1V$, $E_R = -4V$

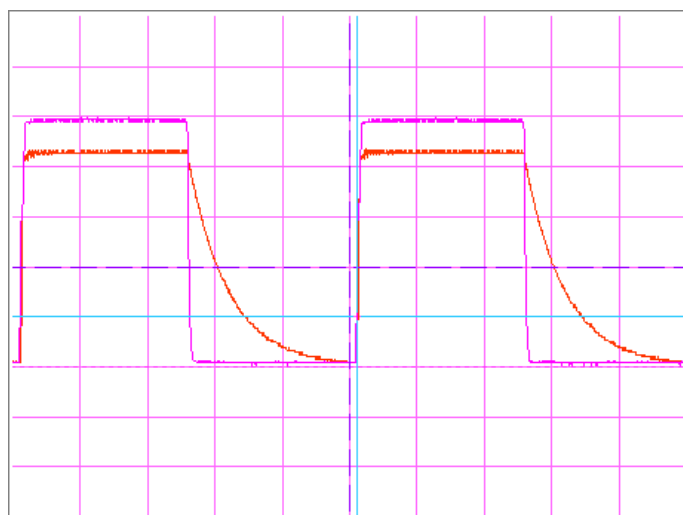
Dalej zmieniając offset, tak że napięcie sterujące jest mniejsze, równe 0V, obserwujemy, że dioda nie zachowuje się już jako przełącznik.



Rysunek 15: $E_F = U_{max}$, $E_R = 0V$ z dołączonym kondensatorem $C_L = 360pF$

Ten układ różni się od pierwszego z diodą impulsową jedynie dołączonym kondensatorem $C_L = 360pF$. Jego odpowiedź jest bardzo podobna do pierwszego układu, ale czas t_2 zauważalnie się zwiększył.

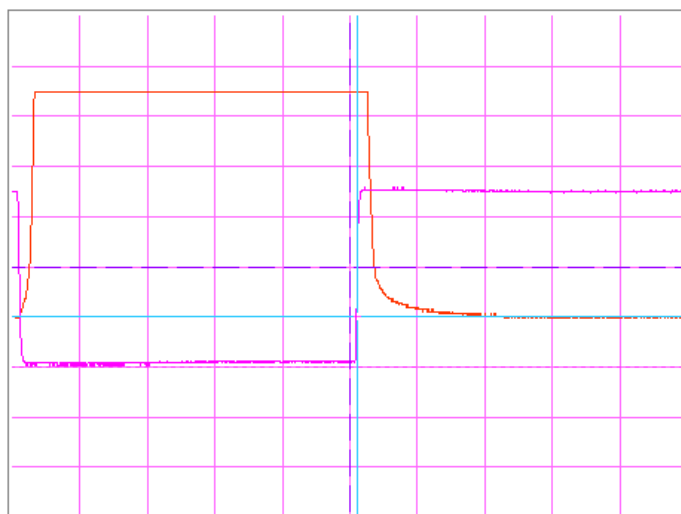
$$t_1 = 0\mu s, t_2 = 4\mu s, t_{off} = 4\mu s.$$



Rysunek 16: $E_F = U_{max}$, $E_R = 0V$ dla częstotliwości 100 kHz

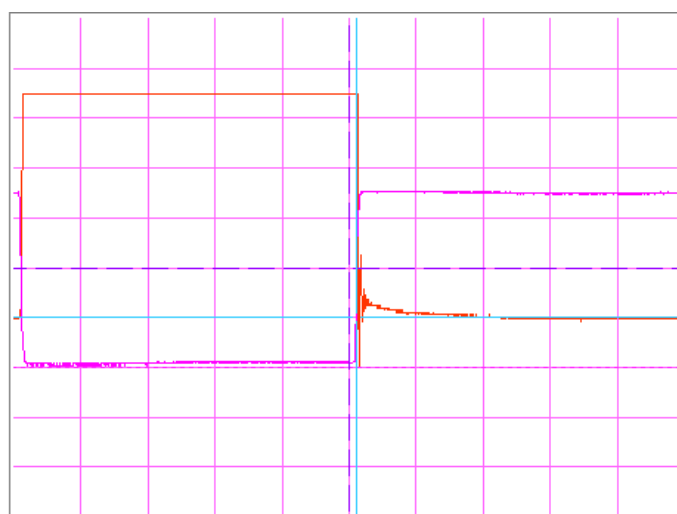
Na tym przebiegu widać, że w podanej częstotliwości dioda już nie pracuje jak dobry włącznik.

Następnie przystąpiliśmy do badania kluczy tranzystorowych, za pomocą układu drugiego. Otrzymane przebiegi przedstawiamy pod spodem:

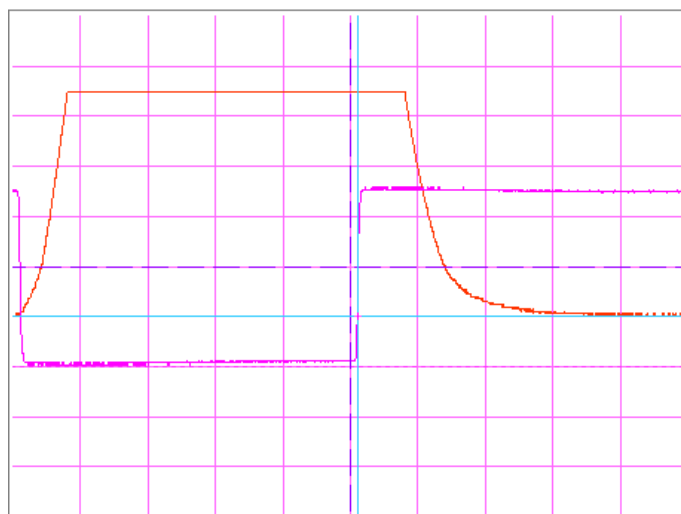


Rysunek 17: Układ bez elementów dodatkowych

$t_d = 0,2\mu s$, $t_r = 3\mu s$, $t_s \approx 0\mu s$, $t_f = 0,3\mu s$. Ponadto dla każdego przebiegu widzimy też napięcie nasycenia $U_{CEsat} = 1V$.

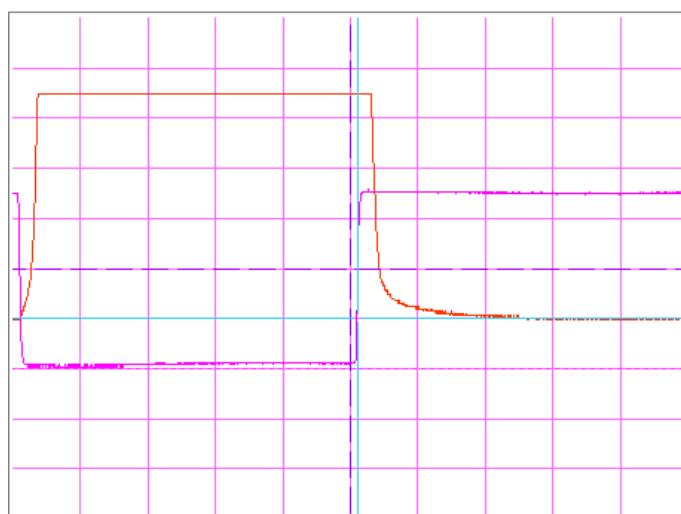
Rysunek 18: Układ z kondensatorem przyspieszającym C

$t_d = 0\mu s$, $t_r = 2\mu s$, $t_s = 0\mu s$, $t_f = 0\mu s$.

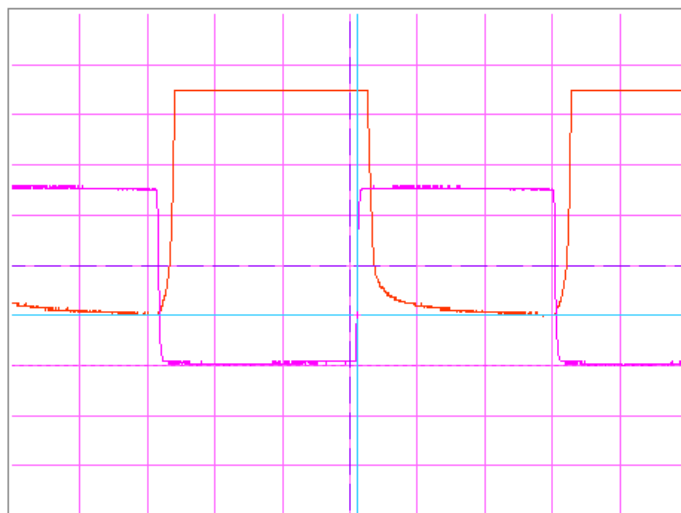


Rysunek 19: układ z diodą

$t_d = 0\mu s$, $t_r = 1,5\mu s$, $t_s = 2\mu s$, $t_f = 4\mu s$. Tutaj spotkała nas nie lada niespodzianka. Użycie diody w układzie miało na celu poprawienie jego właściwości, ale stało się inaczej, bo właściwości przełączające się pogorszyły, bo czas przełączania się zwiększył. Wnioskujemy zatem, że dioda nie spełniała w układzie swojej funkcji (miała nie doprowadzać tranzystora do nasycenia).

Rysunek 20: Układ z kondensatorem obciążającym C_L

$t_d = 0\mu s$, $t_r = 0,2\mu s$, $t_s = 0,2\mu s$, $t_f = 2\mu s$.



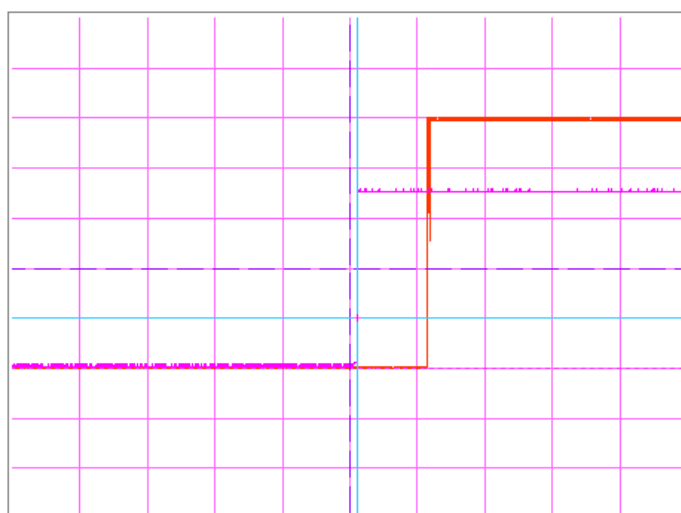
Rysunek 21: Układ działający przy częstotliwości granicznej [85 kHz] z nasyconym tranzystorem

$$t_d = 0\mu s, t_r = 0,3\mu s, t_s = 0,2\mu s, t_f = 5\mu s.$$

Następnie przystąpiliśmy do badania układu z przełącznikiem elektromechanicznym. Na początku wyznaczaliśmy oporności cewki miernikiem elektronicznym.

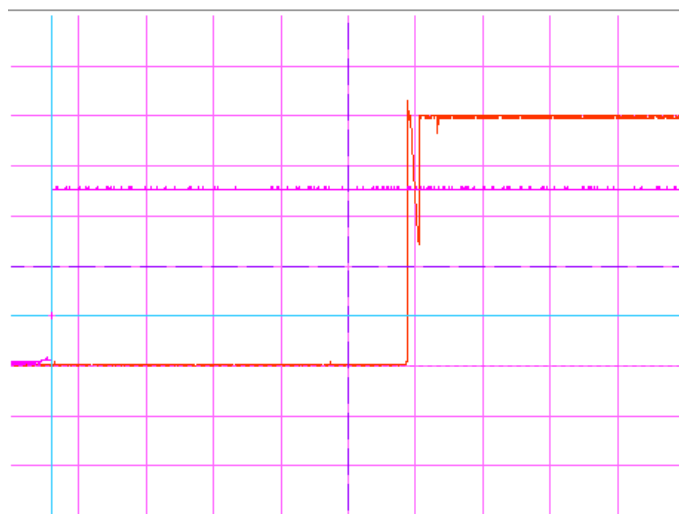
$$R_l = 406\Omega, R_z = 0,4\Omega, R_r > 20M\Omega$$

Następnie zarejestrowaliśmy następujący przebieg napięcia:



Rysunek 22: Układ z przełącznikiem elektromechanicznym

Co wyglądało niepokojąco dobrze. Dopiero w powiększeniu widać było specyficzne defekty tego przełącznika:



Rysunek 23: Układ z przełącznikiem elektromechanicznym

Na powyższym zdjęciu widać wyraźnie zakłócenia przy przełączaniu. A także opóźnienie wyłącznika $t_{off} = 5,5ms$, co jest sporym opóźnieniem w stosunku do innych układów.

5 Wnioski

Nie ma idealnych przełączników. Na rynku możemy jedynie wybierać spośród takich, które mają większe bądź mniejsze zalety, w zależności od potrzeb. Tak oto:

- Przełączniki diodowe i tranzystorowe przy dużych częstotliwościach tracą swoje właściwości
- Przełącznik elektromechaniczny ma bardziej strome przejścia z pozycji włączonej do wyłączonej, ale w zamian za to przy mechanicznym przełączaniu występuje spore opóźnienie, i dość nieprzewidywalne skoki napięcia przy przekoku przełącznika.
- Przełącznik elektromechaniczny pracuje tylko na niskich częstotliwościach
- Przełączniki diodowe i tranzystorowe zachowują się inaczej, gdy do układu dodamy inne elementy co zdecydowanie polepsza właściwości przełącznika.