

Wykład 1.

System wbudowany to rozwiązanie wykorzystujące sprzęt komputerowy do analizy oraz sterowania obiektami. Przede wszystkim, systemy wbudowane są stosowane jako element wykorzystywany w połączeniu z innym systemem, z którym użytkownik ma bezpośrednio styczność lub który odpowiada za proces, lub zjawisko. Tym samym komputer sterujący obiektem analogowym musi posiadać wszystkie interfejsy konieczne do komunikacji ze środowiskiem zewnętrznym. Dotyczy to zarówno portów wejściowych, jak i wyjściowych. Możliwości komunikacji systemu ze światem zewnętrznym nie ograniczają się tylko do komunikacji z badanym obiektem, obejmują również transmisję danych do innych komputerów. Należy zauważyć, że mikroprocesor jest systemem cyfrowym, podczas gdy informacje pobierane ze środowiska oraz sygnały wysyłane do niego mają naturę analogową. Stąd konieczne jest wyposażenie systemu wbudowanego w odpowiednie przetworniki cyfrowo-analogowe oraz analogowo-cyfrowe. Wewnątrz komputera musi bowiem dojść do wygenerowania sygnału cyfrowego, który potem zostanie przekonwertowany na odpowiadającą mu wielkość fizyczną, charakterystyczną dla monitorowanego obiektu. Podstawowe cechy komputerów pełniących funkcje systemów wbudowanych to niewielkie rozmiary, ograniczona moc obliczeniowa oraz stosunkowo niewielki pobór energii zasilającej. Ponieważ komputer ma być mały, nie może być wyposażony w elementy wydzielające dużą ilość ciepła. W procesory specjalizowane, które przeznaczono do wykonywania określonych zadań. Ponadto sprzęt stosowany w systemach wbudowanych powinien charakteryzować się podwyższoną wytrzymałością i odpornością na czynniki środowiskowe.

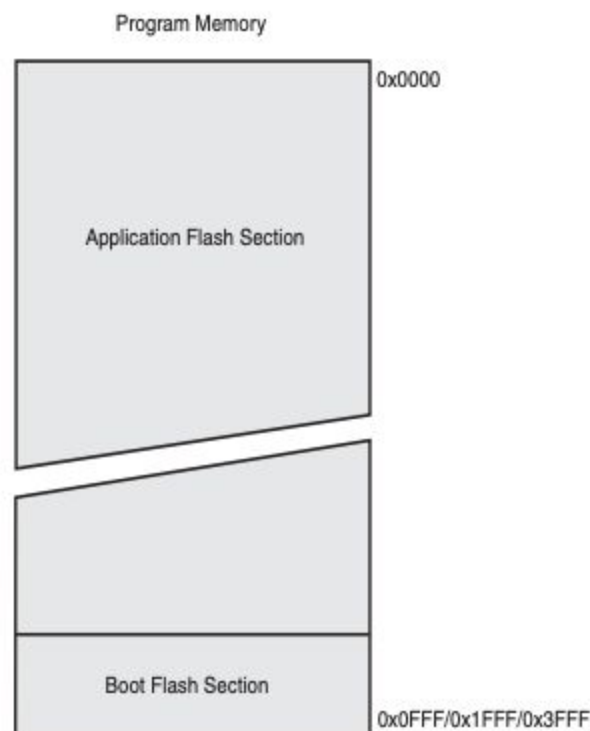
Mikrokontrolery to komputery jednoukładowe umieszczane wewnątrz innego urządzenia, którym mają sterować.

ATmega328/P to 8-bitowy mikrokontroler oparty na AVR. AVR łączy bogaty zestaw instrukcji z 32 rejestrami roboczymi ogólnego przeznaczenia. Wszystkie 32 rejestry są bezpośrednio podłączone do jednostki arytmetycznej (ALU), umożliwiając dostęp do dwóch niezależnych rejestrów w jednej instrukcji wykonanej w jednym cyklu zegara.

Flash	EEPROM	RAM	Interrupt Vector Size
32KBytes	1KBytes	2KBytes	2 instruction words/vector

Główną funkcją AVR jest zapewnienie prawidłowego wykonania programu. Procesor musi zatem mieć dostęp do pamięci, wykonywać obliczenia, kontrolować urządzenia peryferyjne i obsługiwać przerwania. Aby zmaksymalizować wydajność i równoległość, AVR wykorzystuje architekturę Harvarda - z oddzielnymi pamięcią i magistralami dla programu i danych. Podczas wykonywania jednej instrukcji kolejna instrukcja jest pobierana z pamięci programu. Ta koncepcja umożliwia wykonywanie instrukcji w każdym cyklu zegara. Pamięć programu to wbudowana w system pamięć Flash z możliwością przeprogramowania.

Status Register zawiera informacje o wyniku ostatnio wykonanej instrukcji arytmetycznej. Informacje te można wykorzystać do zmiany przebiegu programu w celu wykonania operacji warunkowych. Status Register nie jest automatycznie zapisywany po wejściu w procedurę przerwania i przywracany po powrocie z przerwania. To musi być obsługiwane przez oprogramowanie.



Wszystkie porty AVR mają funkcjonalność Read-Modify-Write, gdy są używane jako ogólne cyfrowe porty I/O. Oznacza to, że kierunek jednego pinu portu można zmienić bez niezamierzonej zmiany kierunku dowolnego pinu za pomocą instrukcji SBI i CBI.

Sygnał analogowy może mieć amplitudę dowolnego napięcia w zakresie, w przeciwieństwie do sygnału cyfrowego, który może znajdować się w jednym z dwóch zdefiniowanych stanów napięcia (wysokim lub niskim). Napięcie sygnału może zmieniać się w czasie lub może być stałe. Jeśli napięcie się zmienia, może powtarzać się w regularnych odstępach czasu, w którym to przypadku sygnał jest okresowy. Okres to przedział czasu, w którym wzorec sygnału powtarza się. Częstotliwość sygnału to liczba powtórzeń wzoru na sekundę. Częstotliwość jest mierzona w hercach (Hz) i odnosi się do okresu w następujący sposób:

Częstotliwość = 1 / okres

Zatem sygnał o okresie 1 ms ma częstotliwość 1 kHz.

Porty I/O ATmega

Omawiana przez nas Atmega posiada 3 grupy wejść/wyjść nazywane portami. Są to: PortB (8-bitowy), PortC (7-bitowy) i PortD (8-bitowy). Tak więc każdy z tych portów zawiera 7 lub 8 wyprowadzeń. Każdy z tych portów posiada w pamięci po 3 odpowiadające im rejestry: DDRx, PINx i PORTx. Zadaniem tych ustalonych miejsc w pamięci jest przechowywanie informacji o sposobie konfiguracji portów. Oczywiście mała literka x oznacza port, którego dany rejestr dotyczy. Tak więc mamy tu DDRC, PINC, PORTC, ale także DDRB, PINB i PORTB.

DDRx to 8-bitowy rejestr odpowiadający za to, czy dane wyprowadzenie jest wejściem (stan 0), czy wyjściem (stan 1). Standardowo ma on wartość 0, czyli linia jest wejściem.

PINx to drugi 8-bitowy rejestr, służy do odczytu stanu danego pin'u (linii), kiedy jest ona ustawiona jako wejście.

PORTx pełni jedną z dwóch ról:

- jeżeli pin jest skonfigurowany jako wyjście, do tego rejestru wpisujemy wartość logiczną, jaka ma się pojawić na wyjściu,
- jeżeli pin jest skonfigurowany jako wejście, to ustawienie tego rejestru na wartość 1 spowoduje podłączenie linii przez wewnętrzny rezystor podciągający do napięcia zasilania VCC.

Rezystory

Nawet przewodnik (taki jak drut metalowy) nie jest w 100% skuteczny w przewodzeniu przepływu prądu. Gdy prąd przepływa przez drut, energia zostanie utracona w postaci ciepła (a czasem światła). W przypadku bardzo małych prądów ta strata energii jest znikoma, ale w przypadku dużych prądów utrata może spowodować, że przewodnik nagrzej się lub jasno świeci. Ta utrata energii powoduje różnicę napięcia na przewodzie (lub elemencie). Mówi się, że element ten jest odporny na przepływ prądu. Rezystancja ta jest mierzona w omach. Zależność między napięciem, prądem i rezystancją jest znana jako prawo Ohma i jest dana przez:

$$V = I * R$$

W przypadku stałej rezystancji zmienne napięcie wytworzy zmienny prąd, a stałe napięcie wytworzy stały prąd. Dlatego zmienne źródło napięcia jest znane jako źródło prądu przemiennego (lub AC), podczas gdy źródło stałego napięcia jest znane jako źródło prądu stałego (DC). Napięcie prądu przemiennego zwykle określa się jako VAC, natomiast napięcie prądu stałego albo VDC, albo częściej tylko V. "

Dla danej różnicy napięcia im mniejszy opór, tym większy przepływ prądu. I odwrotnie, im większy opór, tym mniejszy przepływ prądu. W ten sposób można zastosować rezystancję, aby ograniczyć przepływ prądu przez określoną część obwodu. Właśnie w tym celu produkowane są specjalne elementy zwane rezystorami. Rezystory są częścią rodziny urządzeń zwanych komponentami pasywnymi. Rezystory mogą być połączone szeregowo, aby zwiększyć opór. Łączny całkowity opór wynika z zależności:

$$R_{TOTAL} = R1 + R2$$

Przepływ prądu przez dowolny z elementów połączonych szeregowo będzie taki sam dla każdego elementu. Innymi słowy, prąd przepływający przez pierwszy rezystor będzie taki sam jak prąd przepływający przez drugi rezystor. Wynika to z Kirchhoff's Current Law.

Rezystory szeregowo można wykorzystać do utworzenia dzielnika napięcia w celu zapewnienia napięcia pośredniego. Napięcie wyjściowe jest podawane przez:

$$V_{OUT} = V_{IN} * R_2 / (R_1 + R_2)$$

Na przykład, jeśli napięcie wejściowe wynosi 5 V, a oba rezystory mają 1 kΩ, wówczas napięcie wyjściowe wynosi:

$$V_{OUT} = 5 \text{ V} * 1\text{k} / (1\text{k} + 1\text{k}) = 2,5 \text{ V}.$$

Jak można się spodziewać, dzielnik napięcia wykorzystujący równe rezystory zmniejsza o połowę napięcie wejściowe.

Łączny całkowity opór wynika z zależności:

$$R_{TOTAL} = 1 / (1 / R_1 + 1 / R_2)$$

Spadek napięcia na R1 musi być taki sam jak spadek napięcia na R2. Jednak jeśli R1 nie jest równe R2 (i nie ma takiego wymogu), przepływ prądu przez każdy będzie inny. Wynika to z Kirchhoff's Voltage Law.

Potencjometr jest tylko rezystorem zmiennym.

Wszystkie mikroprocesory wymagają zegara. Częstotliwość zegara jest zwykle wyrażana w kiloHertzach (kHz), MegaHertzach (MHz, 1000 kHz) lub GigaHertz (GHz, 1000 MHz). Dany procesor będzie miał maksymalną i

minimalną częstotliwość taktowania. Określa zakres, w którym może działać oscylator sterujący procesorem. Mówi się, że procesor z minimalną prędkością zegara zero ma działanie statyczne lub DC. Oznacza to, że procesor może mieć zatrzymany zegar i nadal być w stanie wznowić pracę w późniejszym czasie bez żadnych skutków ubocznych. Jeśli minimalna częstotliwość robocza procesora jest określona jako większa od zera, wówczas mówi się, że ten procesor działa dynamicznie.

Digital Signals

Pin wyjściowy urządzenia cyfrowego może znajdować się w jednym z trzech stanów. Może być wysoka (logiczna 1), niska (logiczna 0) lub trójstanowa (wysoka impedancja). Logiczny wysoki jest zdefiniowany jako napięcie wyjściowe na pinie wyższe niż podany próg. Kiedy szpilka urządzenia wytwarza wysoką wartość, mówi się, że pobiera prąd do tego połączenia. Podobnie niski poziom logiczny polega na tym, że napięcie wyjściowe jest poniżej określonego progu, a szpilka urządzenia mówi się, że prąd tonie.

Gdy urządzenie wyprowadza wysoki poziom logiczny, a jego napięcie wyjściowe jest wyższe niż górny próg dla urządzenia wejściowego, prąd przepływa od styku wyjściowego do styku wejściowego. Urządzenie wyjściowe pobiera prąd, podczas gdy urządzenie wejściowe tonie.

I odwrotnie, w przypadku niektórych rodzajów logiki cyfrowej, gdy urządzenie wyprowadza niski poziom logiczny, a jego napięcie wyjściowe jest niższe niż dolny próg urządzenia wejściowego, prąd przepływa od styku wejściowego do styku wyjściowego, nawet jeśli urządzenie wyjściowe jest ten kontrolujący napięcie. Urządzenie wyjściowe tonie prądem, podczas gdy urządzenie wejściowe pobiera prąd.

Parameter	Rating
Voltage on any pin relative to ground	-0.3 V to (VCC + 0.5V)
Voltage on VCC relative to ground	-0.3 V to 6.0 V
Operating temperature	-40°C to +85°C
Storage temperature	-55°C to +125°C
Soldering temperature	160°C for 10 seconds

Pierwszy rząd tabeli odnosi się do zakresu napięcia, który może tolerować każdy pin tego mikrokontrolera. Zwykle napięcie przykładane do pinu będzie się wahać od zera woltów (masy) do VCC . Jeśli pin spadnie poniżej -0,3 V (innymi słowy, prawie każde napięcie ujemne), układ może ulec uszkodzeniu. Podobnie, jeśli pin ma przyłożone napięcie większe niż VCC + 0,5 V, wówczas również zostanie uszkodzony. Teraz wiele osób interpretuje VCC + 0,5 V jako +5,5 V, ponieważ nominalne VCC wynosi +5 V. Niekoniecznie tak jest. VCC + 0,5 V oznacza 0,5 V powyżej rzeczywistego VCC, którego używasz do zasilania układu, a nie wartości nominalnej +5 V.

Wykład 2.

Flash, jak wiemy, jest pamięcią nieulotną. Przechowywane w nim dane nie znikają po odłączeniu zasilania. Może więc służyć jako zamiennik wbudowanego EEPROM-u jeśli jego rozmiar jest niewystarczający. Flash jest znacznie większy, przy czym oczywiście jego część będzie zajęta przez działający na mikrokontrolerze program. Z drugiej strony Flash szybciej się zużywa. Wybierając więc między tymi dwiema pamięciami, trzeba wziąć pod uwagę potrzebną pojemność oraz największą liczbę zapisów do tego samego miejsca w pamięci, jaka wystąpi podczas pracy urządzenia. Decydując się na wbudowaną pamięć Flash, trzeba też pamiętać, że została przeznaczona przede wszystkim na kod wykonywalny, a nie na dane użytkownika. Dostęp do Flasha w ATmega32 jest zorganizowany właśnie pod kątem zapisywania w nim programów.

FLASH	EEPROM	RAM
32KBytes	1KBytes	2KBytes

Zasadnicza różnica pomiędzy pamięciami EEPROM i FLASH jest taka, że w układach EEPROM mamy możliwość zapisania (nadpisanie) pojedynczych bajtów, zaś w układach FLASH czyszczenie oraz zapis musimy przeprowadzać zbiorczo. Układy FLASH wymagają specjalnych procedur dostępu oraz dodatkowych zmiennych (buforów) do przechowywania większych ilości danych (a co za tym idzie więcej pamięci RAM mikrokontrolera), aby podczas zmiany kilku bajtów w pamięci nie utracić pozostałych danych przechowywanych na tej samej stronie/sektorze pamięci. Układy EEPROM z kolei będą częściej wykorzystywane tam gdzie wymagany jest sekwencyjny zapis pojedynczymi bajtami.

W przypadku układów FLASH przed zapisem danych wymagane jest wykonanie procedury czyszczenia pamięci, a minimalny obszar jaki możemy wyczyścić to pojedynczy sektor. Sekwencja zapisu kilku bajtów do pamięci FLASH powinna być następująca:

1. odczyt danych z sektora do bufora,
2. wyczyszczenie sektora w pamięci
3. modyfikacja bajtów w buforze,
4. zapis danych do sektora.

W przypadku układów EEPROM możemy czyścić oraz zapisywać nawet pojedyncze bajty w pamięci. Niestety, tego typu pamięci są wolniejsze zarówno w odczycie jak i zapisie od FLASH.

GPIO

Każdemu z portów są przyporządkowane trzy rejestry wejścia-wyjścia:

- PORTx - Gdy port pracuje w trybie wyjściowym stan logiczny zapisany w tym rejestrze jest stanem logicznym wymuszonym na pinie zewnętrznym, gdy port pracuje jako wejście ustawienie określonych bitów powoduje dołączenie do wejść rezystorów podciągających o ile nie jest to zablokowane bitem PUD w rejestrze SFIOR lub MCUCR.
- PINx - stan bitów tego portu odpowiada faktycznemu stanowi pinów ustawionych jako wejścia, gdy linia portu pracuje jako wyjście to stan odpowiadającego mu bitu rejestru PINx jest kopią bitu rejestru PORTx.
- DDRx - określa kierunek linii portu. Wyzerowanie bitu rejestru DDRx powoduje ustawienie linii jako wejścia, ustawienie bitu powoduje ustawienie linii jako wyjścia.

Przyciski

Wejścia AVR dobrze wyczuwają napięcia. W szczególności bardzo dobrze wyczuwają, czy przyłożone napięcie na konkretny pin jest wyższe, czy niższe niż połowa napięcia zasilania.

Obwód łączący jeden koniec przycisku z masą, a drugi koniec z AVR. W ten sposób, za każdym razem, gdy naciśniesz przycisk prawie na pewno napięcie jest na poziomie 0 V. Ale kiedy zwolnisz przycisk, nie wiadomo jakie jest napięcie na końcu przełącznika AVR. Drut, który po prostu zwisa w powietrzu, po niepodłączonej stronie przełącznika, może działać jak antena. Napięcie na tym przewodzie będzie się przesuwać między stanami logiki wysokiej i niskiej przy dowolnej częstotliwości najsilniejszych lokalnych stacji radiowych. Nie możesz jednak podłączyć AVR przycisku bezpośrednio do VCC, ponieważ gdybyś to zrobił, zwarcie spowodowałoby brak zasilania po naciśnięciu przycisku - podłączenie VCC bezpośrednio do GND to przepis na katastrofę. Wprowadź rezystor pull-up. Rezystor podciągający to rezystor o stosunkowo wysokiej wartości, który „podciąga” nieprzystosowaną stronę przycisku do wysokiego poziomu napięcia przy braku naciśnięcia przycisku. Układy AVR zapewniają wbudowany rezystor pull-up dla każdego pinu i masz możliwość aktywowania go dla każdego pinu, który jest w trybie wejściowym. W ten sposób strona AVR odczytuje dobrze zdefiniowany poziom wysokiego napięcia aż do naciśnięcia przycisku.

Każdy przycisk ma tendencję do drgania w czasie zwierania i/lub rozwierania. Zjawisko to jest stricte mechaniczne i zwane jest drganiem styków (ang. Bouncing). Zjawisko to trwa od kilkudziesięciu mikrosekund do kilkudziesięciu milisekund, zarówno przy zwieraniu jak i rozwieraniu styków. Jak temu zaradzić?

- sprzętowo - kondensator, który eliminuje drgania "wygładzając" sygnał podawany do mikrokontrolera.

- programowo (kilkukrotne sprawdzenie, czy stan styków jest taki sam w ciągu np. 20 milisekund).







Diody

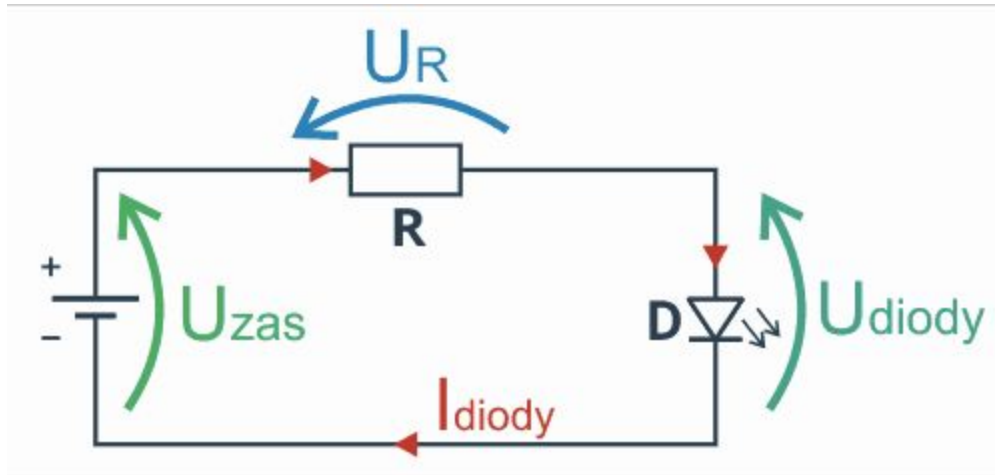
Na wstępie od razu warto zapamiętać, że rezystor musi towarzyszyć diodzie świecącej (LED). Rezystor jest konieczny, ponieważ dioda jest elementem sterowanym prądowo! Diody świeące (LED) są bardzo "zachłanne" i chciałyby pobrać tak dużo prądu, jak to tylko możliwe.

Napięcie przewodzenia, to minimalne napięcie, przy którym przez diodę zaczyna płynąć prąd (prąd przewodzenia) i krótko mówiąc zaczyna ona wtedy świecić! Napięcie przewodzenia zależy od:

- temperatury otoczenia,
- wartości płynącego prądu (im wyższy, tym większe napięcie odkłada się na diodzie),
- zastosowanego przez producenta materiału półprzewodnikowego.

Popularne diody świeące, pracują typowo z maksymalnym prądem ciągłym 20-30 mA. Na szczęście aktualnie produkowane LEDy świecą wyraźnie nawet przy znacznie mniejszym prądzie rzędu 2-3 mA, więc nie trzeba dostarczać im zawsze maksymalnego prądu. Zasilanie typowych diod sygnalizacyjnych (z kolorową soczewką) prądem większym od 10mA nie ma większego sensu. Intensywność ich świecenia nie wzrośnie znacząco (dioda reaguje na natężenie prądu w sposób logarytmiczny).

kolor:						
U_{diody} [V]	1,1 1,7	1,6 2,2	2,0 2,3	2,0 3,7	2,9 4,0	3,0 3,6



$$R = (U_{zas} - U_{diody}) / I_{diody}$$

Tranzystor bipolarny zbudowany jest wewnętrznie z trzech warstw półprzewodnika: *npn* lub *pnp*. Do każdej z tych warstw podłączona jest osobna elektroda. Rozważmy tranzystor *npn* (tranzystory *pnp* działają podobnie, lecz posiadają odwróconą polaryzację napięć). Elektrody tranzystora posiadają swoje nazwy, które odzwierciedlają ich funkcje:

- **Emiter** - wysyła ładunki elektryczne (do masy)
- **Baza** - steruje przepływem ładunków (poprzez rezystor GPIO)
- **Kolektor** - zbiera ładunki z emitera (obciążenie +5V).

Tranzystor jest elementem sterowanym: zmieniając prąd bazy, czyli ilość odprowadzanych elektronów, regulujemy prąd kolektora. Stosunek tych dwóch prądów to wzmacnienie prądowe oznaczane grecką literą β (beta), wielkość ta nie posiada jednostki i może wynosić od kilkunastu do kilku tysięcy:

$$\beta = \text{prąd kolektora} / \text{prąd bazy},$$

co zapisuje się jako: $\beta = I_C / I_B$

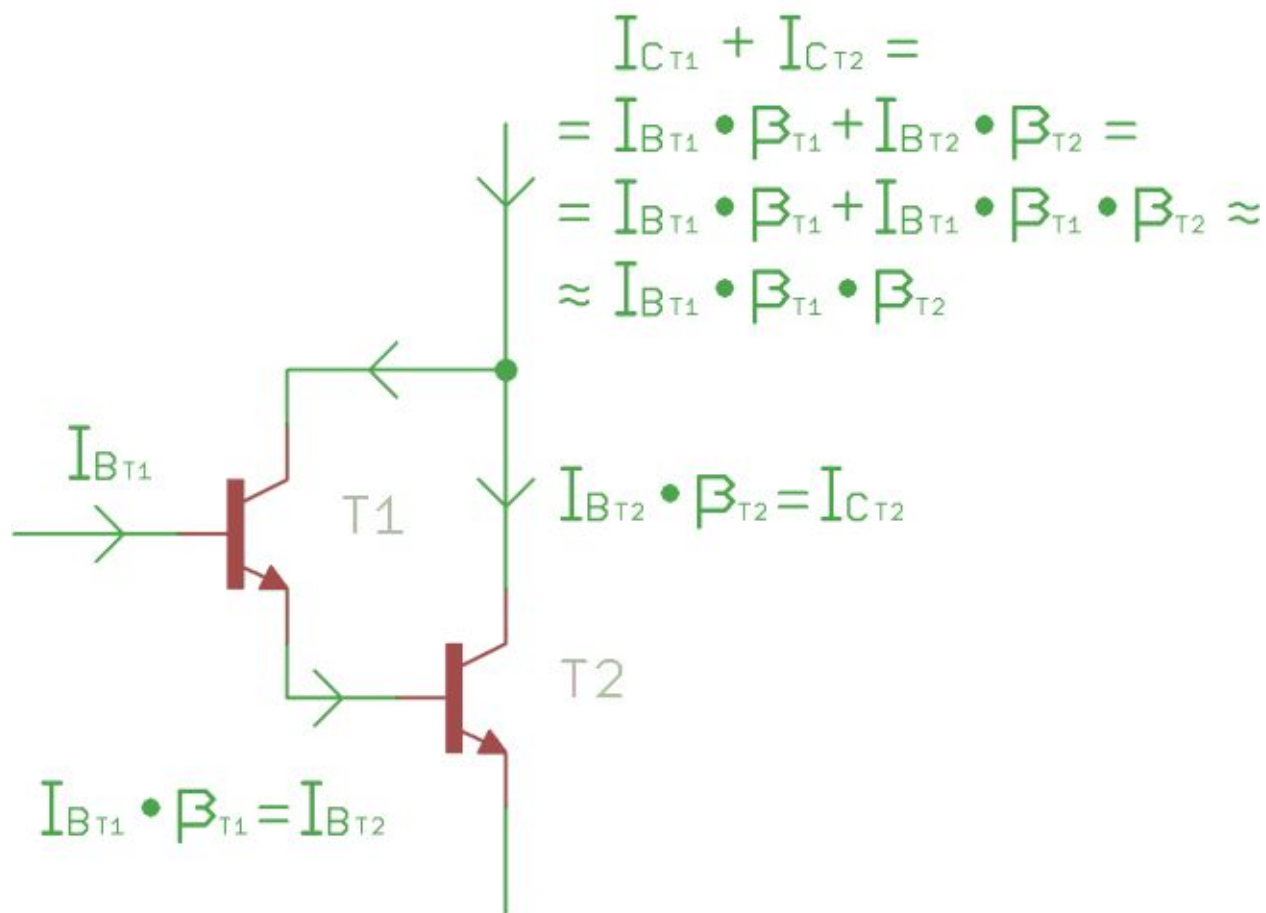
Układ Darlingtona

Jeżeli jeden tranzystor jest w stanie wzmacniać prąd, to czy użycie dwóch tranzystorów poprawi naszą sytuację? Okazuje się, że tak. Jeżeli tylko połączymy je w konfiguracji Darlingtona. Układ zawiera dwa tranzystory bipolarne, tego samego typu. Zasada działania jest następująca: prąd, który jest wprowadzany na bazę T1, wypływa z jego emitera wzmocniony.

Współczynnik wzmocnienia prądowego tego tranzystora oznaczmy jako β_{T1} . Z emitera T1 wypływa prąd $I_{BT1} \cdot \beta_{T1}$ i wpływa bezpośrednio na bazę T2. Przez tranzystor T2 jest on wzmacniany β_{T2} - krotnie. W rezultacie, przez kolektor T2 płynie prąd $I_{BT1} \cdot \beta_{T1} \cdot \beta_{T2}$. Lwia część prądu płynie przez tranzystor T2, dlatego prąd kolektora T1 można uznać za pomijalnie mały. W efekcie, całkowite wzmocnienie prądowe tego układu to

$$\beta_{\text{cał}} = \beta_{T1} \cdot \beta_{T2}.$$

.

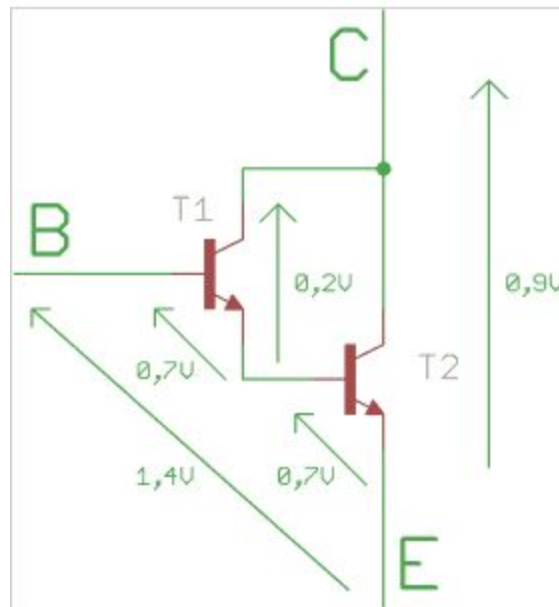


Najważniejszą cechą tej konfiguracji jest mnożenie się współczynników wzmocnienia prądowego. Wracając do przykładu podanego na początku: łącząc tranzystor dużej mocy o $\beta = 40$ z mniejszym, o takiej samej wartości parametru β , uzyskamy wzmocnienie 1600. Załączenie obciążenia pobierającego 5A, wymagać będzie zalednie 3mA. Taki prąd z powodzeniem zapewni większość mikrokontrolerów.

Tranzystory nie są obciążone równomiernie: większość prądu płynie przez T2. Oznacza to, że nie muszą to być tranzystory tego samego typu. T1 może być tranzystorem niewielkiej mocy, o dużym współczynniku β , przez co wypadkowe wzmocnienie będzie jeszcze wyższe!

Pierwszą wadą tego układu jest dwukrotnie wyższe napięcie baza-emiter. Mamy tutaj do czynienia z połączeniem szeregowym złącz baza-emiter, czyli napięcia na każdym z nich (ok. 0,7V przy włączeniu) sumują się.

Znacznie poważniejszym mankamentem jest zwiększone napięcie nasycenia.



Na napięcie kolektor-emiter tranzystora Darlingtona składają się:

- napięcie baza-emiter tranzystora T2,
- napięcie kolektor-emiter T1.

Doprowadzając układ do stanu nasycenia, tranzystor T2 musi być wciąż otwarty, czyli jego napięcie baza-emiter wynosi 0,7 V. Tranzystor T1 może się prawidłowo nasycić, jego U_{CE} spada do umownego poziomu 0,2 V. Dokonując zwykłego sumowania tych napięć okazuje się, że U_{CE} tranzystora T2 to aż 0,9V!

Multipleksowanie, czyli naprzemienne korzystanie z wyprowadzeń. Kluczem do zrozumienia jest tutaj właściwość ludzkiego oka, które nie zauważa migotania obrazu jeśli dzieje się to z dużą częstotliwością. Przy sterowaniu wyświetlaczami poprzez multipleksowanie mikrokontroler lub

inny sterownik zapala w danym momencie tylko jeden wyświetlacz poprzez klucz tranzystorowy odcinający lub podający zasilanie. Podczas przełączania powinny zostać również zostać zmienione sygnały podawane do segmentów. Dzięki temu trickowi choć wyświetlacze świecą się naprzemiennie to na każdym z nich może być wyświetlana inna treść.