

Conception D'un Système Electronique De Commande D'une Electrovanne Pour Optimiser L'arrosage Automatique De Jardins

[Design Of An Electronic Control System For A Solenoid Valve To Optimize Automatic Garden Irrigation]

NDENGE IBAK' OBE Adrien¹ ; LOMEMBE OMOKOKO Marc² ; MPUTSHU BONYOMA Francis³ ; MAKENGO NKESANI Sonny⁴ ; DIKOHONONOMBA Louise⁵ ; SENGALOWO Apollinaire² ; MPIA MOLA Georges³ ; DJONGA ALONGE¹ ; MARINUNGA YUMBI¹

¹ Institut Supérieur de Techniques Appliquées de Kinshasa

² Université de LODJA

³ Institut Supérieur Pédagogique de MBANDAKA

⁴ Institut Supérieur de Techniques Appliquées de Matadi

⁵ Institut Supérieur des Commerces de LODJA

⁶ Université de LODJA

⁷ Institut Supérieur des Commerces de LODJA

⁸ Institut Supérieur Pédagogique de MBANDAKA

Auteur correspondant : MPUTSHU BONYOMA Francis



Résumé : Le présent article propose la conception d'un système électronique de commande d'une électrovanne pour optimiser l'arrosage automatique de jardins, grâce à un circuit électronique à six étages amplificateurs, qui exploite les caractéristiques d'astabilité d'un multivibrateur astable qui génère des ondes carrées. En intégrant un microprocesseur qui reçoit les informations des différents capteurs (de température, de l'humidité du sol, de pluie et d'atmosphère), les analyse, et connecté au collecteur de l'amplificateur de puissance afin de commander la fermeture et l'ouverture de l'électrovanne. Notre système est capable de déterminer avec précision le moment et la quantité d'eau à arroser. L'objectif est de maximiser le rendement des agriculteurs tout en minimisant leurs efforts physiques. Pour arriver au résultat du bon fonctionnement du circuit électronique, nous allons dimensionner les composants passifs de manière à trouver les vraies valeurs de ces composants pour faire fonctionner le circuit électronique.

Mots clés : Système électronique, électrovanne, optimiser, arrosage automatique.

Abstract: This paper proposes the design of an electronic control system for a solenoid valve to optimize automatic garden irrigation, using a six-stage amplifier electronic circuit that leverages the astable characteristics of a multivibrator to generate square waves. By integrating a microprocessor that receives information from various sensors (temperature, soil moisture, rainfall, and atmospheric conditions), analyzes the data, and connects to the power amplifier collector to control the opening and closing of the solenoid valve, the system can accurately determine both the timing and the amount of water needed for irrigation. The objective is to maximize farmers'

productivity while minimizing physical effort. To ensure the proper functioning of the electronic circuit, the passive components will be dimensioned to determine their precise values for optimal operation.

Keywords: Electronic system, solenoid valve, optimization, automatic irrigation.

0. Introduction

L'agriculture, qui est la colonne vertébrale de nombreuse économie à travers le monde, fait face à plusieurs défis, notamment le changement climatique, la rareté de l'eau. Les pratiques agricoles traditionnelles, qui dépendent fortement de travail manuel, sont souvent inefficaces et non durable. En réponse à ces défis, une conception d'un système électronique de commande d'une électrovanne pour optimiser l'arrosage automatique de jardins serait la bienvenue pour aider les agriculteurs. Notre démarche dans cet article consiste à exploiter un circuit électronique à six étages amplificateurs, en intégrant un microprocesseur relié au collecteur de l'amplificateur de puissance qui reçoit les informations des capteurs, les analyse afin de commander la fermeture et l'ouverture de l'électrovanne. Le système utilise des capteurs sur terrain pour surveiller les paramètres du sol, des conditions météorologiques et climatiques, et les conditions des cultures afin de prendre des décisions d'arrosage.

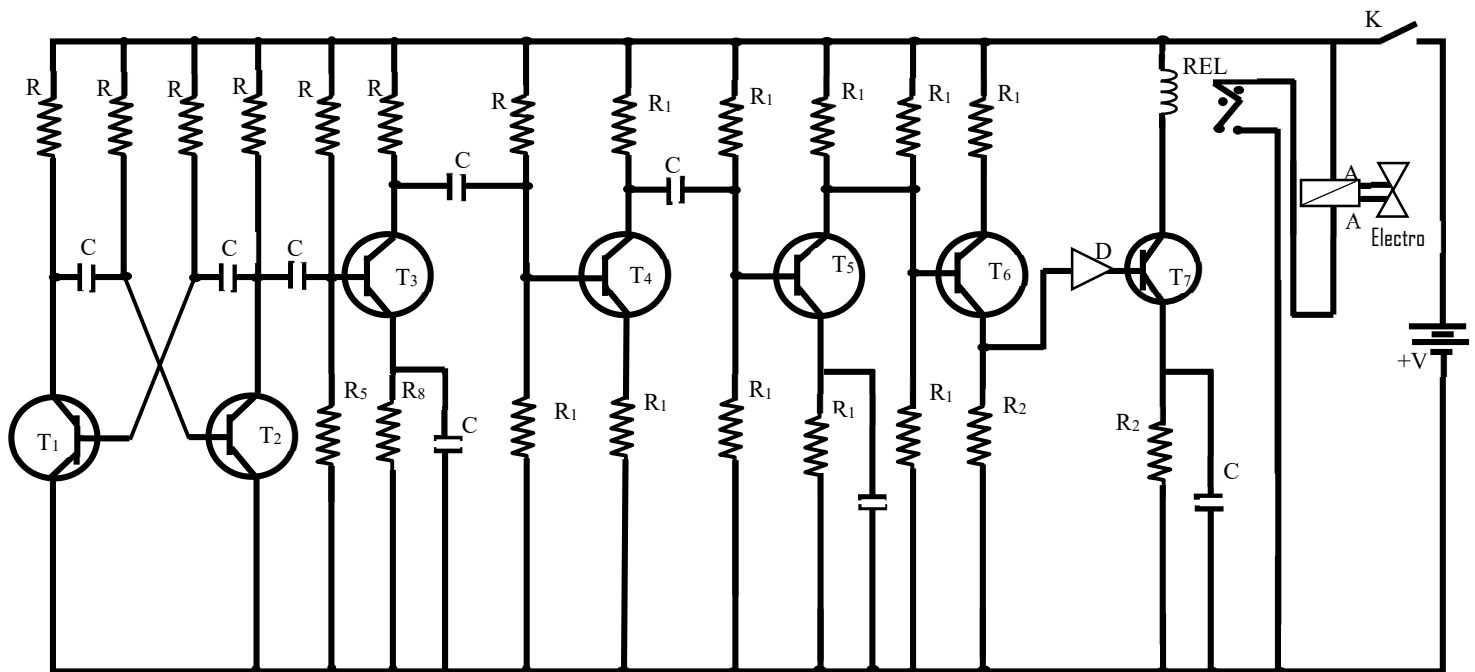


Figure 1 : Schéma détaillé du circuit électronique pour commander l'électrovanne

I.1 Dimensionnement des éléments constitutifs (Passifs) du montage.

Le choix et le dimensionnement des éléments constitutifs du montage de la figure 1 citée ci haut se font étage par étage.

Le tableau Ci-dessous nous donne les caractéristiques des transistors retenus dans le montage, livrées par le constructeur.

Tableau I.1 : Caractéristiques des transistors choisis dans le répertoire mondial des transistors.

TYPE	POL. MAT	BOIT	BROCH	VCB MAX	VCE MAX	IC MAX	TJ MAX	P.TOT MAX	Ft Min	COB MAX	hFE β	IC POUR hFE	FCT	FAB	EQV EUR	EQV USA
BC172 (T1,T2)	NS	X10	L20	25 V	5 V	100Ma	150C	300 MWC	100M	6p	125MN	2MA	ALG	ITB	BC237	2N5825
BD 533 (T3)	NS	TOP66	L32	45 V	5V	4A	150C	40WC	3M	-	40MN	500MA	ANG	SLD	BD241C	2N6123
BD 543 (T4)	NS	TOP66	L32	40 V	5V	8A	150C	70WC	3M	-	40MN	3A	ANG	TIW	BDX73	2N6101
2N2693 (T5)	NS	TO18	L01	45 V	10V	50MA	175C	300 MWF	33M	5p	90/360	100 μ A	ALC	OBS	-	2N6566
BD 515 (T6)	NS	X17	L35	45 V	4V	2A	150C	10WC	50M	-	60MN	150MA	RHG	MOB	-	-
2N5330 (T7)	NS	TO61	L46	90 V	5V	30A	200C	80WC	80M	-	40/120	10A	RHA	TRW	-	-

Source : Répertoire mondiale des transistors

Dans les calculs de dimensionnement des éléments passifs, nous choisirons les valeurs qui sont plus basses pour V_{CE} , V_{BE} et I_C qui représentent les conditions normales de fonctionnement au lieu de prendre les valeurs maximales, ci haut dans ce tableau.

I.1.1 Premier étage : Transistor T₁ et T₂

Isolons cet étage de la figure I.1, nous avons la figure I.2, le schéma ci – dessous.

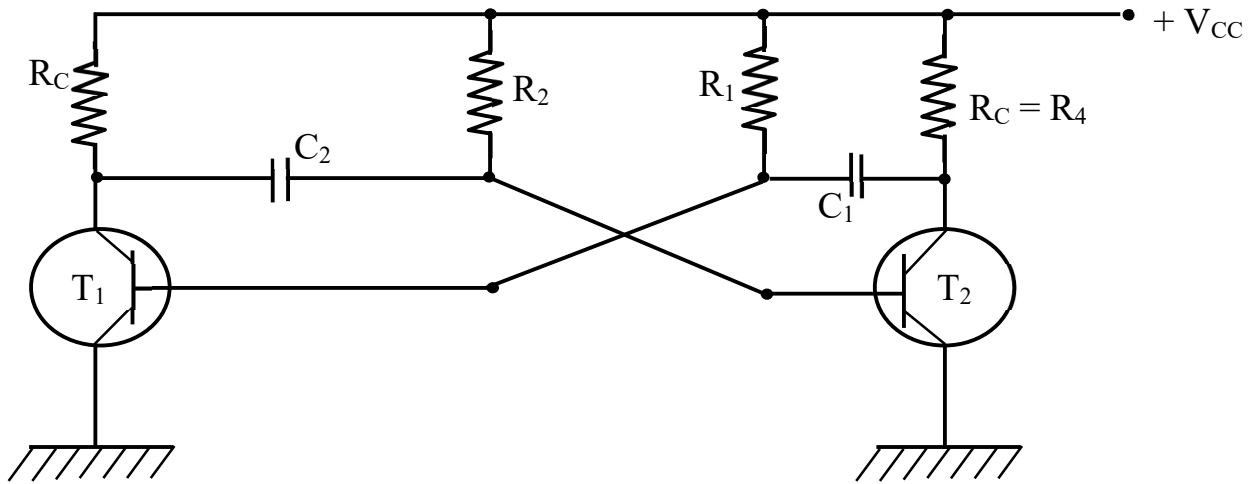


Figure I.2 : Schéma typique de multivibrateur astable.

Les résistances de charge RC sont égales pour les deux transistors, tandis que les circuits RC peuvent être de même valeur, mais aussi de valeurs diverses comme dans le cas de la figure I.2 (R₁C₁ et R₂C₂).

Le dimensionnement se fait en régime continu par un point de repos donné. Pour cet étage de T₁ et T₂, le point de repos est fixé comme suit : courant collecteur IR₁ = IR₄ = 2mA

Gain en courant : hF_E = β = 125

Alimentation V_{CC} = 12V

Astable étant symétrique, nous fixons sa fréquence d'oscillation à 50 Hz

I.1.1. Calcul de valeurs de R₁ = R₄ de R₂ = R₃

Le courant du collecteur IR₁ = 2mA, la maille contenant la résistance R₁

a) Considérons la maille de sortie de T₂ pour le calcul de R₄ = R₁ ; sachant que V_{CC} = 12V ; V_{CE} = 2V et IR₄ = 2mA

$$V_{CC} + R_4 I_{R_4} - V_{CC} = 0$$

I.1

$$R_4 I_{R_4} = V_{CC} - V_{CE}$$

$$R_4 = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_{R_4}} = \frac{12 - 2}{2 \cdot 10^{-3}} = \frac{10 \cdot 10^3}{2} = 5000 \Omega$$

$$R_4 = 5K\Omega$$

Nous adoptons la valeur de 4,7 kΩ, parce que la valeur de 5KΩ n'est pas reprise dans la série normalisée E₁₂ du tableau I.3.

b) considérons la maille d'entrée de T_2 pour le calcul de $R_2 = R_3$, résistance de base, respectivement de T_2 et T_1

Sachant que :

$$IR_2 = \frac{I_C}{hFE} ; \quad \text{I.2}$$

$$I_C = 2\text{mA} ; hFE = 125 ; V_{CC} = 12\text{V} \text{ et } V_{BE} = 0,7\text{V} \text{ d'où } IR_2 = \frac{2 \cdot 10^{-3}\text{A}}{125} = 0,016 \cdot 10^{-3} = 16 \cdot 10^{-3} = 16 \cdot 10^{-6}\text{A} = 16\mu\text{A}$$

Ainsi,

$$V_{CC} + R_2 I_2 + V_{BE} = 0 \text{ (maille d'entrée de } T_2) \quad \text{I.3}$$

$$R_2 I_2 = V_{CC} - V_{BE}$$

$$R_2 = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_2} = \frac{12 - 0,7}{16 \cdot 10^{-6}} = \frac{11,3}{16 \cdot 10^{-6}} = 0,7061 \cdot 10^6 \Omega$$

$$R_2 = 706 \cdot 10^3 \Omega = 706 \text{ k}\Omega$$

Nous adoptons la valeur de 680 k Ω , parce que la valeur de 706 k Ω n'est pas reprise dans la série normalisée E₁₂.

c) Calcul des condensateurs de liaisons $C_1 = C_2$

Le condensateur de liaison bloque la composante continue (DC) et transmet la composante alternative de la tension.

Sachant que la fréquence d'oscillation de multivibrateur est de 50 Hz, nous calculons la valeur de C_2 par la relation suivante :

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} ; \quad \text{I.4}$$

On obtient par réarrangement :

$$C = \frac{1}{2\pi f C X_C} ; \quad \text{I.5}$$

Par définition, à la fréquence la plus basse du signal d'entrée, la liaison est connecté si X_C (réaction capacitive) $< 0,1R$

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2,3,14 \cdot 50} = 0,00318 \Omega$$

On peut alors trouver la valeur de $C_1 = C_2$ sachant que $f = 50 \text{ Hz}$; $X_C = 0,00318 \Omega$

D'où

$$C = \frac{1}{2\pi f C X_C} = \frac{1}{2,3,14 \cdot 50 \cdot 0,00318} = 1F = 10^6 \mu F$$

$$C_1 = C_2 = 1F = 10^6 \mu F$$

I.1.2. Deuxième étage : Transistor T₃

Pour le transistor T₃, nous choisissons le transistor BD 533, compte tenu de ses caractéristiques livrées par le constructeur, reprises dans le tableau I.1

I.1.2.1. Calcul des éléments de T₃

a) sachant que $I_{R7} = 8\text{mA}$, $h_{FE} = 40$, nous calculons le courant I_B

$$\text{Ainsi : } I_B = \frac{I_{R7}}{h_{FE}} = \frac{8 \cdot 10^{-3}}{40} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ A}$$

Nous calculons le courant I_{R8}

$$I_{R8} = I_B + I_{R7}$$

$$= 2 \cdot 10^{-4} + 8 \cdot 10^{-3} = 82 \cdot 10^{-4} \text{ A}$$

I.7

Etant donné que $V_{R8} = 2\text{V}$; or $V_{R8} = I_{R8} \cdot R_8$

$$\text{Ainsi : } R_8 = \frac{V_{R8}}{I_{R8}} = \frac{2}{82 \cdot 10^{-4}} = \frac{2 \cdot 10^4}{82} = 0,024 \cdot 10^4$$

$$R_8 = 240 \Omega$$

Nous retenons la valeur 270Ω reprise dans la série normalisée E₁₂.

Isolons cet étage de la figure I.1, nous avons la figure I.2, le schéma ci – dessous.

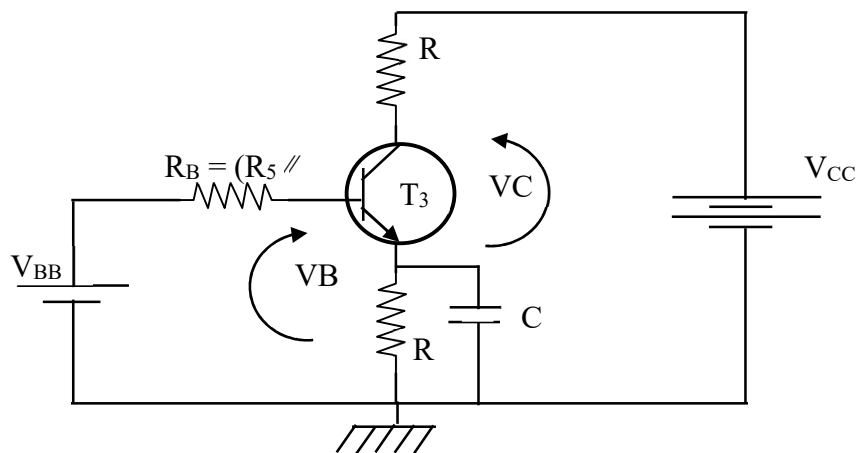


Figure I.2 : Circuit équivalent à l'entrée de T₃ en appliquant le théorème de Thévenin.

b) considérons la maille de sortie de T₃, nous calculons la valeur de R₇

$$V_{CC} + R_7 I_7 + V_{CE} + R_8 I_8 = 0$$

$$R_7 I_7 = V_{CC} - V_{CE} - R_8 I_8 \text{ or } R_8 I_8 = V_{R8}$$

$$R_7 = \frac{V_{CC} - V_{CE} - V_{R_8}}{I_7}$$

Avec $V_{CC} = 12V$; $V_{CE} = 2V$, $V_{R_8} = 2V$ et $I_{R_7} = 8.10^{-3}A$

$$\text{Ainsi, } R_7 = \frac{12-2-2}{8.10^{-3}} = \frac{8}{8.10^{-3}} = 10^{-3}\Omega = 1k\Omega$$

c) Calcul de C_4

Le condensateur de découplage, comme le condensateur de liaison bloque le courant continu et court – circuit le signal alternatif. Pour calculer sa valeur nous utilisons la relation ci-après :

$$C = \frac{1}{2\pi f_c R_E} \quad \text{I.8}$$

Avec $R_8 = R_E = 240\Omega$, $f_c = 50 \text{ Hz}$

$$C_4 = \frac{1}{2.3.14.50.240} = \frac{1}{75360} = 132.10^{-1}\mu F$$

2. Calcul de R_5 et R_6

Partant du facteur de stabilité thermique de T3 qui est $S = 3$, nous calculons d'abord la valeur de $R_B = R_5 // R_6$, en considérant la maille d'entrée de T3 et en appliquant le théorème de Thévenin, on obtient le circuit équivalent ci-dessus, figure I.2 et nous obtenons des expressions suivantes :

$$V_{BB} = \frac{R_6}{R_5 + R_6} V_{CC} \quad \text{I.9}$$

$$R_B = \frac{R_5 \cdot R_6}{R_5 + R_6} \quad \text{I.10}$$

Considérons la maille d'entrée de T3 de la figure I.2 pour trouver la valeur de V_{BB} qui a l'expression ci-après :

$$V_{BB} = R_B \cdot I_B + V_{BE} + V_{R_8} \quad \text{I.11}$$

Le facteur de stabilité thermique S est donné par la relation suivante :

$$S = (1 + \beta) \frac{1 + \frac{R_B}{R_E}}{1 + \beta + \frac{R_B}{R_E}} \quad \text{I.12}$$

Sachant que $S = 3$, $\beta = 40$, $R_8 = 240\Omega = R_E$;

Nous calculons la valeur de R_B

$$3(1 + 40) \frac{1 + \frac{RB}{240}}{1 + 40 + \frac{RB}{240}}$$

$$3 = 41 \frac{\frac{240+RB}{240}}{\frac{240+1600+RB}{240}} \Rightarrow 3 = 41 \frac{9840+RB}{38}$$

$$29520 - 9840 = 41RB - 3RB$$

$$19680 = 38 RB \Rightarrow RB = \frac{19680}{38}$$

$$RB = 517,8\Omega$$

Nous adoptons la valeur de 470Ω , parce que la valeur de $517,8\Omega$ n'est pas repris dans la série normalisée E12.

Nous savons que $I_B = 2 \cdot 10^{-4}A$ et $V_{BE} = 0,7V$, $V_{R8} = 2V$

En remplaçant dans l'équation I.11, on obtient :

$$V_{BB} = 517,8 \cdot 20 \cdot 10^{-4} + 0,7 + 2 = 0,1035 + 2,7 = 2,80V$$

Tirons R_6 de la relation I.10 et introduisons dans la relation I.9, nous trouvons les valeurs de R_6 et de R_5

Ainsi,

$$R_5 = R_B \cdot \frac{V_{CC}}{V_{BB}} \quad \text{III.13}$$

$$R_5 = 517,8 \cdot \frac{12}{2,8} = \frac{6213,6}{2,8} = 2219\Omega = 2,2k\Omega$$

$$R_6 = R_5 \cdot \frac{V_{BB}}{V_{CC} - V_{BB}} \quad \text{III.14}$$

$$R_6 = 2200 \cdot \frac{2,8}{12 - 2,8} = \frac{6160}{9,2} = 669,5\Omega$$

Nous adoptons la valeur de 680Ω puis que la valeur de $669,5\Omega$ n'est pas reprise dans la série normalisée E12.

I.1.3 Troisième étage : Transistor T4

Le transistor est construit autour de transistor T4, nous choisissons le transistor BD 543, compte tenu de ses caractéristiques livrées par le constructeur reprises au tableau I.1

1. Calcul de la valeur de R_9 , R_{10} , R_{11} et R_{12}

Isolons cet étage de la figure I.1, nous avons la figure I.3, le schéma ci-dessous.

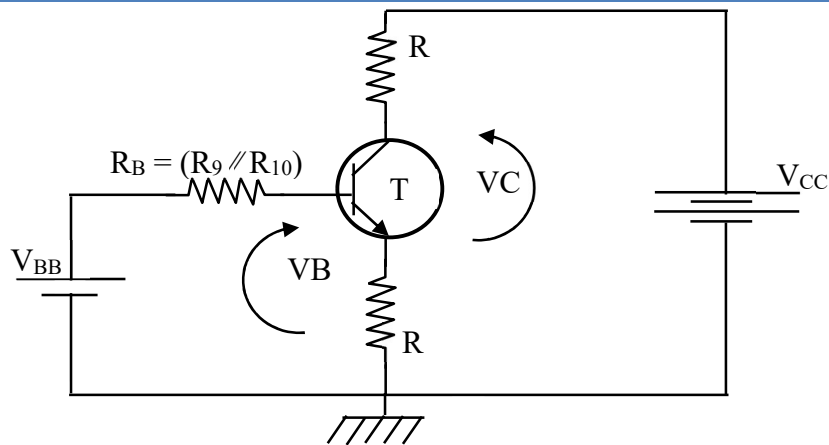


Figure I.3 : circuit équivalent à l'entrée de T_4 en appliquant le théorème de Thévenin.

a) considérons la maille de sortie de T_4 pour calculer R_{11} et R_{12}

Sachant que $V_{CC} = 12V$, $V_{CE} = 2V$, $I_{R_{11}} = 5mA$ et $V_{R_{12}} = 3V$

$$V_{CC} + R_{11} \cdot I_{11} + V_{CE} + V_{R_{12}}$$

$$R_{11} = \frac{V_{CC} - V_{CE} - V_{R_{12}}}{I_{R_{11}}} \Rightarrow R_{11} = \frac{12 - 2 - 3}{5 \cdot 10^{-3}}$$

$$R_{11} = \frac{8 \cdot 10^3}{5} = 1,6 \cdot 10^3 = 1600 \Omega = 1,6 k\Omega$$

Nous adoptons la valeur de $1,5K\Omega$, parce que la valeur de $1,6 K\Omega$ n'est pas repris dans la série normalisée E_{12} .

Sachant que $I_{R_{11}} = 5mA$, $h_{FE} = 40$ et calculons le courant I_B

$$\text{Ainsi } I_B = \frac{I_{R_{11}}}{h_{FE}} = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{40} = 0,125 \cdot 10^{-3} A = 125 \mu A$$

Calculons la valeur de courant $I_{R_{12}}$

$$I_{R_{12}} = I_B + I_{R_{11}}$$

$$= 125 \cdot 10^{-6} + 5 \cdot 10^{-3} = 5125 \cdot 10^{-6} A$$

Etant donné que $V_{R_{12}} = 2V$, or $V_{R_{12}} = R_{12} \cdot I_{R_{12}}$

$$\text{Ainsi } R_{12} = \frac{V_{R_{12}}}{I_{R_{12}}} = \frac{2}{5125 \cdot 10^{-6}} = \frac{2 \cdot 10^6}{5125} = 309,2 \Omega$$

Nous retenons la valeur de 270Ω , parce que la valeur de $309,2 \Omega$ n'est pas dans la série normalisée E_{12} .

b) Calcul de la valeur de R_9 et R_{10}

Ce facteur de stabilité thermique du T4 étant de $S = 5$, calculons d'abord la valeur de $R_B = R_9/R_{10}$, en considérant la maille d'entrée de T4 et en appliquant le théorème de Thevenin, pour obtenir le circuit équivalent de la figure I.3 et des expressions suivantes :

$$V_{BB} = \frac{R_{10}}{R_9 + R_{10}} \quad \text{I.15}$$

$$R_B = \frac{R_9 \cdot R_{10}}{R_{10} \cdot R_9} \quad \text{I.16}$$

Considérant la maille d'entrée de T4 de la figure I.3 citée ci-haut pour trouver la valeur de V_{BB} qui a l'expression suivante :

$$V_{BB} = R_B \cdot I_B + V_{BE} + V_{R_{12}}$$

$$S = (1 + \beta) \frac{1 + \frac{R_S}{R_E}}{(1 + \beta) + \frac{R_B}{R_E}} \quad \text{Avec } R_{12} = R_E$$

Sachant que $S=5$, $\beta = h_{FE} = 40$ et $R_{12} = 309,2\Omega \cong 309\Omega$

Calculons la valeur de R_B

$$\text{D'où : } 5 = (1 + 40) \frac{1 + \frac{R_B}{309}}{1 + 40 + \frac{R_B}{309}}, \text{ en calculant, nous avons :}$$

$$\Rightarrow 50676 = 36R_B$$

$$R_B \frac{50676}{36} = 1407,6\Omega \cong 1408\Omega$$

$$R_B = 1,4K\Omega$$

Etant donné que $I_B = 125 \cdot 10^{-6} \mu A$ et $V_{BE} = 0,7V$, $V_{R_{12}} = 2V$

Avec l'expression I.17, nous avons ainsi ;

$$V_{BB} = 1408 \cdot 125 \cdot 10^{-6} + 0,7 + 2 = 0,176 + 2,7 = 2,87V \cong 3V$$

Tirons R_{10} de la relation I.16 et introduisons dans la relation I.15, trouvons les valeurs de R_{10} et R_9

Ainsi ;

$$R_B = \frac{R_9 \cdot R_{10}}{R_9 + R_{10}} \Rightarrow R_B(R_9 + R_{10}) = R_9 \cdot R_{10} \Rightarrow R_9 = R_B \cdot \frac{V_{CC}}{V_{BB}}$$

$$R_9 = 1408 \cdot \frac{12}{3} = 5632 \Omega = 5,6 \text{ k}\Omega$$

$$R_{10} = R_9 \cdot \frac{V_{BB}}{V_{CC} - V_{BB}} = 5632 \cdot \frac{3}{12-3} = \frac{16896}{9}$$

$$R_{10} = 1877 \Omega = 1,87 \text{ k}\Omega \cong 1,8 \text{ k}\Omega$$

I.1.4. Quatrième étage : Transistor T₅

Pour le transistor T₅, choisissons le transistor 2N2693, compte tenu de ses caractéristiques livrées par le constructeur, repris dans le tableau I.1

I.1.4.1. Calcul des éléments de T₅ : R₁₃, R₁₄, R₁₅, R₁₆ et C₈

Isolons cet étage de la figure I.1, obtenons la figure I.4

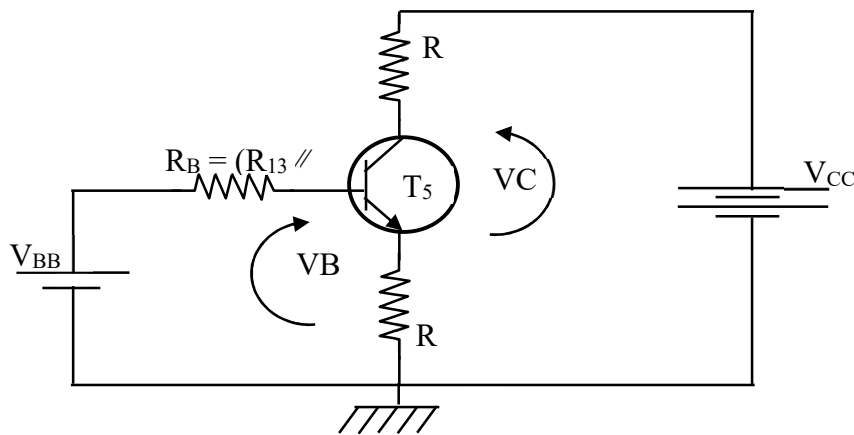


Figure I.4 : circuit équivalent à l'entrée de T₅, en appliquant le théorème de Thévenin.

a) Considérons la maille de sortie de T₅ pour trouver les valeurs de R₁₅ et R₁₆

Sachant que V_{CC} = 12V ; V_{CE} = 2V, V_{R16} = 2V et I_{R15} = 5mA

$$V_{CC} + R_{15} \cdot I_{15} + V_{CE} + V_{R16} = 0$$

$$R_{13} = \frac{V_{CC} - V_{CE} - V_{R16}}{I_{15}} = \frac{12 - 2 - 2}{5 \cdot 10^{-3}} = \frac{8 \cdot 10^{-3}}{5}$$

$$R_{13} = 1600 \Omega = 1,6 \text{ k}\Omega$$

Nous retenons la valeur de 1,5 kΩ parce que la valeur de 1,6 kΩ n'est pas repris dans la série normalisée E₁₂.

I_{R15} = 5mA ; hFE = 90, calculons le courant I_B. Ainsi,

$$I_B = \frac{I_{R15}}{hFE} = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{90} = 55 \cdot 10^{-6} \text{ A} = 5055 \mu\text{A}$$

Avec $VR_{16} = 2V$; or $VR_{16} = IR_{16}.R_{16}$

Ainsi ;

$$R_{16} = \frac{VR_{16}}{IR_{16}} = \frac{2}{5055.10^{-6}} = 395,6\Omega$$

Utilisons la valeur de 390Ω parce que la valeur de $395,6\Omega$ n'est pas repris dans la série normalisée E_{12} .

b) Calcul de la valeur de R_{13} et R_{14}

Le facteur de stabilité thermique S est donné par la relation suivante :

$$S = (1 + \beta) \frac{1 + \frac{R_B}{R_E}}{1 + \beta + \frac{R_B}{R_E}} ; \text{avec } RE = R_{16}$$

$S = 5$, la valeur de $RB = R_{13}/R_{14}$

En considérant la maille d'entrée de T_5 et en appliquant le théorème de Thévenin, on obtient le circuit équivalent de la figure I.4 et des expressions suivantes :

$$V_{BB} = \frac{R_{16}}{R_{13} + R_{14}} \cdot V_{CC} \quad \text{I.18}$$

$$R_B = \frac{R_{13} \cdot R_{14}}{R_{13} + R_{14}} \quad \text{I.19}$$

Considérons la maille d'entrée de T_5 de la figure I.4, citée ci-haut pour trouver la valeur de V_{BB}

$$V_{BB} = R_B \cdot I_B + V_{BE} + VR_{16} \quad \text{I.20}$$

Etant donné que $S = 5$, $\beta = 90 = h_{FE}$, et $R_{16} = 395,6\Omega$. Calculons la valeur de R_B dans l'équation S

D'où

$$5 = (1 + 90) \frac{1 + \frac{R_B}{395,6}}{1 + 90 + \frac{R_B}{395,5}}$$

$$5 = 91 \frac{\frac{395,6 + R_B}{395,6}}{\frac{35999,6 + R_B}{395,6}} \Rightarrow 5 = 91 \cdot \frac{(395,6 + R_B)}{35999,6 + R_B} = 143998,4 = 86R_B$$

$$R_B = \frac{143998,4}{86} = 1674,4\Omega = 1,67\text{ k}\Omega$$

Avec $I_B = 55 \cdot 10^{-6}\text{A}$, $V_{BE} = 0,7\text{V}$ et $V_{R_{16}} = 2\text{V}$ avec l'expression I.20, on obtient :

$$V_{BB} = 1674,4 \cdot 55 \cdot 10^{-6} + 0,7 + 2 = 0,092 + 2,7 = 2,79\text{V}$$

Tirons R_{14} de la relation I.19 et introduisons dans la relation I.18, nous obtenons les valeurs de R_{13} et R_{14} . Ainsi ; $R_B = \frac{R_{13} \cdot R_{14}}{R_{13} + R_{14}}$

$$R_{13} = R_B \frac{V_{CC}}{V_{BB}} \Rightarrow R_{13} = 1674,4 \cdot \frac{12}{2,79} = 7201,7\Omega = 7,2\text{ k}\Omega$$

Nous adoptons la valeur de $6,8\text{ k}\Omega$, car $7,2\text{ k}\Omega$ n'est pas repris dans la série normalisée E₁₂.

$$R_{14} = R_{13} \cdot \frac{V_{BB}}{V_{CC} - V_{BB}} = 7201,7 \cdot \frac{2,79}{12 - 2,79} = 2181,6\Omega$$

Calcul de C₈

$$\text{Avec l'expression } C = \frac{1}{2\pi f_c R_E},$$

$$\text{Avec } R_E = R_{16}, f_c = 50\text{Hz}, R_E = R_{16} = 395,6\Omega$$

$$C_8 = \frac{1}{2\pi f_c R_{16}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 395,6}$$

$$C_8 = 0,00000805\text{ F} = 805 \cdot 10^{-8}\text{F} = 805 \cdot 10^{-8} \cdot 10^{-6}$$

$$C_8 = 805 \cdot 10^{-2} \mu\text{F} = 8,05 \mu\text{F} = 2,1\text{K}\Omega, \text{ la valeur adoptée est de } 2,2\text{ k}\Omega$$

I.1.5 Cinquième étage : Transistor T₆

Pour le transistor T₆, nous choisissons le transistor BD515, compte tenu de ses caractéristiques livrées par le constructeur, repris dans le tableau III.2.

1. Calcul de la valeur de : R₁₇, R₁₈, R₁₉ et R₂₀

a) considérons la maille de sortie de T₆ pour le calcul de R₁₉ et R₂₀. Sachant que $V_{CC} = 12\text{V}$; $V_{CE} = 2\text{V}$; $I_{R_{19}} = 5\text{mA}$ et $V_{R_{20}} = 2\text{V}$

$$V_{CC} + R_{19} \cdot I_{R_{19}} + V_{CE} + V_{R_{20}} = 0$$

$$R_{19} = \frac{V_{CC} - V_{CE} - V_{R_{20}}}{I_{R_{19}}} = \frac{12 - 2 - 2}{5 \cdot 10^{-3}} = \frac{8 \cdot 10^{-3}}{5} = 1600\Omega = 1,6\text{K}\Omega$$

Nous adoptons la valeur de $1,5\text{ k}\Omega$, car $1,6\text{ k}\Omega$ n'est pas repris dans la série normalisée E₁₂.

Avec $I_{R_{19}} = 5\text{mA}$, $h_{FE} = 60$, calculons le courant I_B .

Ainsi :

$$I_B = \frac{I_{R_{19}}}{h_{FE}} = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{60} = 83 \cdot 10^{-6} \text{ A} = 83 \mu\text{A}$$

Calculons la valeur de courant $I_{R_{20}}$

$$I_{R_{20}} = I_B + I_{R_{19}} \Rightarrow I_{R_{20}} = 83 \cdot 10^{-6} + 5 \cdot 10^{-3} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ A}$$

$$V_{R_{20}} = 2\text{V}, \text{ or } V_{R_{20}} = I_{R_{20}} \cdot R_{20}$$

Ainsi,

$$R_{20} = \frac{V_{R_{20}}}{I_{R_{20}}} = \frac{2}{5 \cdot 10^{-3}} = 0,4 \cdot 10^3 = 400 \Omega$$

Adoptons la valeur de 390Ω , puis que la valeur de 400Ω n'est pas dans la série normalisée E12.

b) Calcul de la valeur de R_{17} et R_{18}

Partant du facteur de stabilité thermique de T6 qui est $S = 5$, nous calculons la valeur de $R_B = R_{17} // R_{18}$, en considérant la maille d'entrée de T6, et en appliquant le théorème de Thévenin, obtenons le circuit équivalent de la figure I.5 et des expressions suivantes :

$$R_{BB} = \frac{R_{18}}{R_{17} + R_{18}} V_{CC} \quad \text{I.21}$$

$$R_B = \frac{R_{17} \cdot R_{18}}{R_{17} + R_{18}} \quad \text{I.22}$$

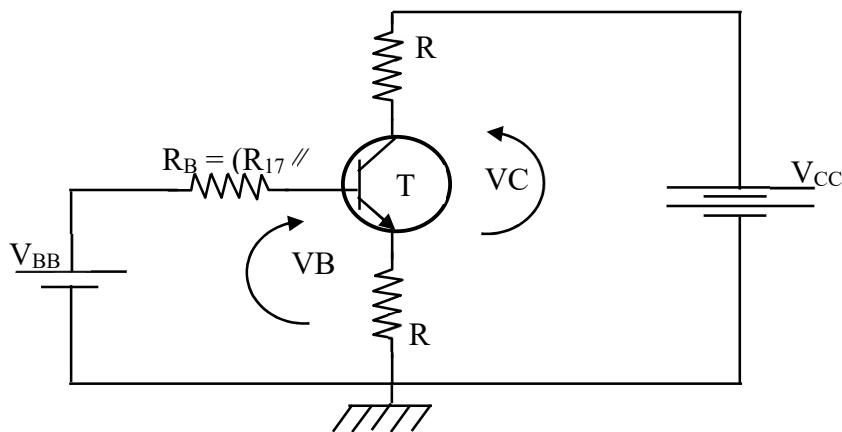


Figure I.5 : Circuit équivalent à l'entrée de T6 en appliquant le théorème de Thévenin.

c) Considérons la maille d'entrée de T6 de la figure I.5 citée ci-haut pour trouver la valeur de V_{BB} qui a l'expression suivante :

$$V_{BB} = R_B I_B + V_{BE} + V_{R_{20}}$$

I.23

Trouvons la valeur de R_B , en utilisant le facteur de stabilité thermique S par la relation suivante :

$$S = (I + \beta) \frac{1 + \frac{R_B}{R_{20}}}{1 + \beta + \frac{R_B}{R_{20}}}; \text{ avec } RE = R_{20}$$

$S=5$, $\beta = hFE = 60$ et $R_{20} = 400\Omega$, nous calculons la valeur de R_B

D'où :

$$S = (I + 60) \frac{1 + \frac{R_B}{400}}{1 + 60 + \frac{R_B}{400}} = \frac{\frac{400 + R_B}{400}}{\frac{400 + 24000 + R_B}{400}} = \frac{4160000}{22400} = 185,7\Omega$$

Sachant que $I_B = 83.10^{-6}A$; $V_{BE} = 0,7V$ et $V_{R_{18}} = 2V$ et en utilisant la relation I.23, on obtient :

$$V_{BB} = 185,7.83.10^{-6} + 0,7 + 2 = 2,7A$$

Tirons R_{18} de la relation I.22 et introduisons dans la relation I.21, nous obtenons les valeurs de R_{18} et R_{17} :

Ainsi :

$$R_{18} = R_{17} = R_B \frac{V_{CC}}{V_{CC} - V_{BB}} \Rightarrow R_{18} = 825,3 \frac{2,7}{12 - 2,7} = 239,6\Omega$$

Utilisons la valeur de 220Ω , repris dans la série normalisée E_{12} .

I.1.6. Sixième étage : Transistor T₇ : Amplificateur de Puissance

Appelé étage de puissance, ce transistor sert à contrôler la charge finale (le relais). Il reçoit le signal amplifié et lorsqu'il est activé, il permet au courant de circuler vers le relais.

Pour le transistor T₇, choisissons le transistor 2N5330 compte tenu de ses caractéristiques livrées par le constructeur, repris dans le tableau I.1

1. Choix de D et calcul de la valeur de R₂₁ et C₉

a) Choix de D

Nous choisissons la diode D 1N60 parce que sa tension de seuil est de 0,7V, une fois on atteint la tension de 0,7V, elle commence à conduire.

b) Calcul de la valeur de R₂₁

En considérant le circuit d'entrée de transistor T₇, nous avons l'expression suivante :

$$VR_{20} + V_Y + V_{BE} + VR_{21} = 0$$

I.24

$$R_{21} \cdot IR_{21} = VR_{20} - V_Y - V_{BE}$$

$$R_{21} = \frac{VR_{20} - V_Y - V_{BE}}{IR_{21}}$$

Nous savons que le courant $IR_{20} = IR_{21} = 5.10^{-3}A$, $VR_{20} = 2V$, $V_Y = 0,7V$ et $V_{BE} = 0,2V$, $ID = 83.10^{-6}A$

D'où :

$$R_{21} = \frac{2 - 0,7 - 0,2}{5.10^{-3}} = \frac{1,1.10^{-3}}{5} = 0,22.10^{-3} = 220\Omega$$

c) Calcul de la valeur de condensateur C₉.

$$C_E = \frac{1}{2\pi f c}, \text{ avec } f c = 50\text{Hz}, RE = R_{21} = 220\Omega$$

$$C_9 = \frac{1}{2\pi f c. R_{21}} = \frac{1}{2.3,14.50.220} = 144,7\mu F$$

Adoptons la valeur de 150 μF , repris dans la série normalisée E₁₂.

I.1.7 Dimensionnement des condensateurs de liaison C₃, C₅, C₆ et C₇

Pour les condensateurs de liaison, les calculs seront fastidieux. Ainsi, nous adoptons les valeurs approximatives suivantes :

$$C_3 = C_5 = C_6 = C_7 = 33\mu F/25V$$

II. Le Relais et l'électrovanne

II.1 Choix de Relais

Le relais est un élément moteur dans le circuit électrique proposé pour faire fonctionner l'électrovanne.

II.1.1 Définition

Un relais est un dispositif électromécanique qui permet de contrôler un circuit électrique par un signal fiable. Il fonctionne comme un interrupteur, où un courant électrique dans une bobine crée un champ magnétique qui actionne le contact, ouvrant ou fermant le circuit.

II.1.2 Constitution

Un relais est constitué d'une bobine, d'un noyau ferromagnétique, d'un contact et d'un mécanisme de commutation. Dans notre travail, la bobine du relais est reliée au microprocesseur et l'autre patte au collecteur de l'amplificateur de puissance T7, qui est à même temps la charge du collecteur et son élément de polarisation. La tension de relais est de 12 V /5 mA

II.2 Choix de l'électrovanne

L'électrovanne est un élément important, qui sert à faire passer de l'eau pour arroser le jardin.

II.2.1 Définition

Une électrovanne est une vanne qui s'ouvre ou se ferme en réponse à un signal électrique. Elle est généralement utilisée pour contrôler le flux de liquide ou de gaz dans un système. Lorsqu'un courant électrique passe à travers une bobine, cela crée un champ magnétique qui déplace un piston ou un diaphragme, permettant ou bloquant ainsi le passage du liquide.

III. Les Capteurs

Pour la conception d'un système électronique de commande d'une électrovanne pour l'arrosage automatique de jardins, nous allons utiliser quatre capteurs à savoir : capteurs de température, d'humidité du sol, de pluie et de l'atmosphère.

Chacun de ces capteurs répond à un besoin spécifique.

V. Résultats

Le dimensionnement des composants électroniques (Passifs) a permis de trouver des valeurs exactes pour faire fonctionner le système électronique mis en place. Cette section présente les résultats inscrits au tableau des caractéristiques techniques des composants utilisés et aux caractéristiques techniques des autres composants tels que la diode, relais bobine, électrovanne, l'interrupteur et la batterie Vcc. Ainsi que, les spécifications techniques des capteurs et des caractéristiques des transistors livrés par le constructeur.

V.1 Caractéristiques techniques des composants utilisés.

Nous donnons ci-dessous la technologie des composants utilisés. Pour les transistors, nous ajouterons leurs rôles respectifs. Toutes les valeurs que nous donnons ont été choisies ou calculées :

T1 =T2 ; BC172, sont des transistors bipolaires de type NPN d'audio fréquence de faible courant à usage universel. Ce sont des transistors de multivibrateur astable.

T3 ; BD533, est un transistor bipolaire de type NPN d'audio fréquence qui utilise un courant fort à usage universel.

T4 : BD543, est un transistor bipolaire de type NPN d'Audio fréquence qui utilise un courant fort et à usage universel.

T5 : 2N2693, est un transistor bipolaire de type NPN d'audio fréquence qui utilise un courant faible à usage chopper.

T6 : BD515, est un transistor bipolaire de type NPN, de radio fréquence qui utilise un courant fort à usage universel.

T7 : 2N5330, est un transistor bipolaire de type NPN, de radio fréquence qui utilise un courant fort à usage universel. C'est un transistor de puissance (étage final)

Pour les résistances et les condensateurs, leurs caractéristiques techniques sont reprises dans le tableau ci –dessous.

Tableau 2 : Caractéristiques techniques des résistances et condensateurs.

Résistances/Condensateurs	Description/Valeurs, puissance et tolérance
R1=R4	Résistance au carbone de 4,7 K Ω 1/2W ; \pm 10%
R2=R3	Résistance au carbone de 680K Ω 1/2W ; \pm 10%
R5=R14	Résistance au carbone de 2,2 K Ω 1/2W ; \pm 10%
R6	Résistance au carbone de 680 Ω 1/2W ; \pm 10%
R7	Résistance au carbone de 1 K Ω 1/2W ; \pm 10%
R8=R12	Résistance au carbone de 270 Ω 1/2W ; \pm 10%
R9	Résistance au carbone de 5,6 K Ω 1/2W ; \pm 10%
R10	Résistance au carbone de 1,8 K Ω 1/2W ; \pm 10%
R11=R15=R19	Résistance au carbone de 1,5 K Ω 1/2W ; \pm 10%
R13	Résistance au carbone de 6,8 K Ω 1/2W ; \pm 10%
R16=R20	Résistance au carbone de 390 Ω 1/2W ; \pm 10%
R17	Résistance au carbone de 820 Ω 1/2W ; \pm 10%
R18	Résistance au carbone de 220 Ω 1/2W ; \pm 10%
C1=C2	Condensateurs électrolytiques de 1 μF /15
C3=C5=C6=C7	Condensateurs électrolytiques de 33 μF /25
C4	Condensateur électrolytique de 12 μF /15
C8	Condensateur électrolytique de 8 μF /15
C9	Condensateur électrolytique de 150 μF /25

V.2 Autres caractéristiques techniques des composants utilisés

D = 1N60

Relais bobine de 12V_/5mA

Electrovanne : bobine de 12V_/5mA

K= interrupteur fabriqué e cuivre

Vcc= Batterie de 12V_6,5 Ah

Tableau : 3 Spécifications techniques des capteurs utilisés (Type, plage de mesure, précision, sortie et temps de réponse)

Capteurs	Types	Plage de mesure	Précision	sortie	Temps de réponse
Capteur de température	Thermistance, thermocouple, Capteur à résistances, capteur numérique	-40 °C à 125°C Pour les thermistance jusqu'à 1000°C	±0,5°Cà ±2 °C	Analogique (Voltage ou courant ou numérique (I2C, SPL..))	Quelques secondes à minutes
Capteur d'humidité du sol	Capteurs capacitifs ou résistifs	0% à 100%	±2% à 5%d'humidité	Analogique(tension)ou numérique (I2C, PWM)	Quelques secondes
Capteur de pluie	Capteur à bascule, capteur à Goutte, capteur capacitif	Détecte la présence ou l'absence de pluie ; certains modèles peuvent mesurer la quantité de pluie en mm/h	±10%pour les modèles de mesure.	Analogique (Tension) ou Numérique (contact Sec)	Instantané à quelques secondes.
Capteur d'atmosphère (qualité De l'air)	Capteur de gaz (CO ₂ , CO, O ₃), Capteur de particules (PM2.5, PM10), Capteur de température et d'humidité intégrés.	Varie selon le type de gaz ;par exemple , CO ₂ : de 0 à5000ppm) ou±5%	Variable ; par exemple , pour le CO ₂ :±50ppm ou ±5%	Numérique (I2C ,UART)	Quelques Secondes à plusieurs minutes et selon le capteur.

VI. Description de résultat

Quand l'interrupteur K est ouvert, le montage ne fonctionne pas. Lorsque l'interrupteur K se ferme, la tension Vcc alimente le montage, c'est-à-dire les collecteurs et les bases de T1, T2, T3, T4, T5, T6 et T7.

Directement l'étage multivibrateur astable constitué de T1 et T2 fonctionne. Même si T1 et T2 ont les mêmes caractéristiques, un d'entre eux va fonctionner avant en produisant un signal variable qui va traverser C3 pour attaquer la base de

T3, et sort au collecteur de T3 et traverse C5, puis arrive à la base de T4 et sort à son collecteur via C6 puis attaque la base de T5 pour sortir à son collecteur et la connexion se fait par C7 puis arrive à l'anode de la diode D, seulement la partie positive va passer et attaque la base de T7.

A même temps, le bloc des capteurs (de température, d'humidité du sol et de pluie) collecte des données envoie au microprocesseur connecté au collecteur de T7, les analyse et le relais est activé, en favorisant l'excitation de la bobine de l'électrovanne, pour attirer le noyau afin se ferme pour signaler qu'il est temps d'arroser les jardins. A l'absence du signal, l'électrovanne est à l'état de repos, donc il n'y a pas le passage d'eau. Le courant collecteur circule en traversant la bobine du relais et celui-ci se ferme. Par conséquent, l'électrovanne tourne en faisant sortir de l'eau en autorisant l'arrosage.

VII. Discussion

Le système d'arrosage automatique conçu peut servir dans beaucoup d'autre service public, tels que dans l'arrosage de terrain de football.

Pour le cas de sapeurs-pompiers, un étage amplificateur de puissance sera remplacé par un étage push-pull pour augmenter la puissance de signal à la sortie qui va commander une électrovanne de grande capacité en vue d'augmenter la quantité et la pression de l'eau.

VII. Conclusion

La conception d'un système électronique de commande d'une électrovanne pour optimiser l'arrosage automatique de jardins, repose sur le schéma détaillé du système électronique constitué de six étages amplificateurs de la figure I.1. Les résultats obtenus montrent que le système automatique d'arrosage de jardins et en mettant en application toutes les caractéristiques telles que définies ci-haut pourra bien fonctionner. Ce système conçu pourra répondre aux besoins des agriculteurs de diminuer l'effort physique et accroître la productivité en respectant le moment opportun pour arroser les jardins.

Références

- [1]. Albert Paul MALVINO. David BATES, principes d'électronique, 8^e édition, édition DUNOD, Paris, 2016,
- [2]. BOITTIAUX B., 2005, Cours d'électronique : les Composants semi-conducteurs, 2^e édition, édition Lavoisier technique et documentation, Paris.
- [3]. BOULEFIED Mohamed Islam & Al, 2024, Système d'information automatique avec Arduino, mémoire de Master, Alger.
- [4]. Dr Aicha MEHEDI, 2022, polycopie pédagogique : Cours de Capteurs et Instrumentation, Université de Mostaganem Abdelhamid Ibn Badis, Alger.
- [5]. Laboratory for Applied Mechanical design, Cours de techniques de mesures capteurs industriels usuels.
- [6]. E. TOURET-H. LILEN, Répertoire Mondiale des transistors, 4^e édition, éditions Radio, Paris, 1984
- [7]. Emerson Fisher, Manuel de la vanne de régulation, 6^e édition
- [8]. LOVEDAY G., 2009, Dépannage des Circuits électroniques, 5^e édition, édition Eyrolles, Paris
- [9]. Ndombe Kimpio Kidjong, Notions fondamentales de l'électronique générale, Cours et Exercices corrigés, Institut Supérieur de Techniques Appliquées, éditions Sciences et Techniques Appliquées, 2024, Kinshasa.