

L'électronique : comprendre et appliquer

Burkhard Kainka

Etape 1 : Introduction.....	1
Zone de contacts	2
Pile	2
Diodes lumineuses	3
Résistances.....	3
Transistors NPN.....	4
Transistors PNP	4
MOSFET.....	4
Condensateurs	4
Condensateur électrolytique.....	5
Etape 2 : Amplification du courant.....	5
Etape 3 : inversion du plus et du moins	6
Etape 4 : Commande de temporisation	6
Etape 5 : Capteur tactile.....	7
Etape 6 : Détecteur de mouvements.....	8
Etape 7 : DEL comme capteur photoélectrique	9
Etape 8 : Luminosité constante	9
Etape 9 : Capteur de température.....	10
Etape 10 : Ouverture et fermeture.....	11
Etape 11 : Allumé et éteint.....	12
Etape 12 : Clignotant symétrique.....	12
Etape 13 : Clignotant à DEL simple	13
Etape 14 : • Flash à DEL.....	14
Etape 15 : Capteur tactile MOSFET	14
Etape 16 : Gradateur à capteur.....	15
Etape 17 : Electromètre.....	16
Etape 18 : DEL comme cellules photoélectriques	16
Etape 19 : Capteur de température à condensateur	17
Etape 20 : Eclairage temporisé	18
Etape 21 : Clignotant progressif	18

Etape 1 : Introduction

L'électronique n'a jamais cessé de progresser depuis l'invention du transistor. Nous sommes actuellement entourés d'appareils dont les circuits intégrés comptent des millions de transistors. Dans le même temps, de moins en moins de personnes savent encore précisément comment un simple transistor fonctionne réellement ! Il devient de plus en plus difficile de concilier l'utilisation de l'électronique et sa compréhension. Pourtant, les choses sont très simples : il suffit de prendre quelques transistors et de réaliser quelques expériences simples pour accéder à d'innombrables possibilités. De nombreuses tâches peuvent être résolues à l'aide de simples circuits à transistors. Vous devez donc faire preuve de créativité !

Un transistor est un composant doté de trois connecteurs et destiné à contrôler le courant électrique. La quantité de courant traversant le circuit est gérée par une commande. Les transistors sont de deux types. Les transistors bipolaires sont formés de couches réalisées dans un matériau semi-conducteur N et P. On distingue les transistors NPN (par exemple BC547) et PNP (par exemple BC557) en fonction de la succession des couches. Quant aux transistors bipolaires, ils comportent uniquement un canal semi-conducteur dont la conductivité est modifiée par un champ électrique. Ces transistors sont des *transistors à effet de champ* (FET). Le MOSFET à canal N BS170 est un membre typique de cette famille.

Ce kit éducatif a été conçu pour vous accompagner dans vos premiers pas en électronique. Nous présenterons ci-après les composants. Les différentes expérimentations seront réalisées sur une platine enfichable. Chaque expérimentation est illustrée par un schéma de câblage et une photo du montage. La photo ne représente qu'une simple suggestion. Vous pouvez également disposer les composants différemment. Les pattes des différents composants ont été raccourcies parfois afin d'obtenir une photo plus claire. Nous vous recommandons toutefois de ne pas raccourcir les pattes afin de pouvoir réutiliser les composants pour d'autres expérimentations.

Zone de contacts

Toutes les expérimentations sont montées sur une platine d'expérimentation de laboratoire. La zone de 270 contacts au pas de 2,54 mm permet de réaliser des connexions en toute sécurité de vos composants.

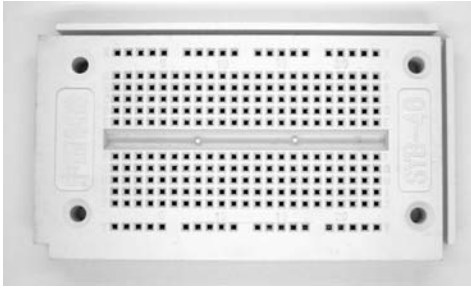


Fig. 1 : Zone d'expérimentation ((B_Steckbrett.jpg))

La zone comporte dans la partie centrale 230 contacts reliés par rangées verticales de 5 contacts. Par ailleurs, 40 contacts destinés à l'alimentation électrique sont ménagés au bord de la platine. Ils sont réalisés à l'aide de deux bandes horizontales de 20 contacts chacune. La zone de contacts dispose ainsi de deux rails d'alimentation indépendants. La figure 2 présente toutes les connexions internes. On y voit les rangées de contacts courtes au centre et les rails d'alimentation longs au bord.

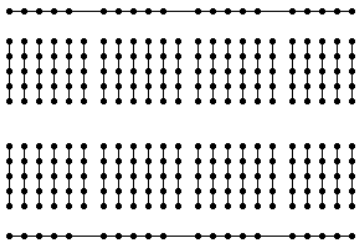


Fig. 2 : Rangées de contacts internes ((Kontakte.gif))

Il est nécessaire de forcer pour l'insertion des composants. Les pattes se plient sans difficulté. L'important est d'insérer les fils exactement par le haut. Vous pouvez vous aider d'une pincette ou d'une petite pince à cet effet. Maintenez le fil le plus près possible au-dessus de la plaque d'essais et appuyez verticalement vers le bas. De cette manière, vous pouvez insérer des pattes sensibles telles que les extrémités étamées des clips de batterie.

Vous avez besoin pour les expérimentations de fils courts et plus longs, à couper dans le strap fourni. Pour dénuder les extrémités des fils, il est recommandé d'inciser l'isolant à l'aide d'une lame aiguisée.

Pile

La synthèse ci-après montre les composants tels qu'ils se présentent ainsi que les symboles de commutations utilisés dans les circuits. Vous pouvez utiliser un bloc d'alimentation au lieu d'une pile.



Fig. 3 : Pile réelle et son symbole de commutation. ((B_Batterie.gif))

N'utilisez pas de piles alcalines ni d'accus mais uniquement des piles zinc-carbone. Les piles alcalines ont une longévité supérieure mais en cas de dysfonctionnement, par exemple en cas de court-circuit, elles délivrent (de la même manière que des accus) des courants très élevés pouvant atteindre 5 A. Les fils fins ou la pile elle-même peuvent chauffer fortement sous ces courants. Le courant de court-circuit d'une pile bloc zinc-carbone est inférieur à 1 A. Même si cela est susceptible de détériorer les composants sensibles, cela exclut les risques de combustion.

Le clip de pile fourni comporte un câble de connexion avec un toron flexible. Les extrémités du câble sont dénudées et étamées. Elles sont suffisamment rigides pour permettre l'insertion des contacts de la plaque d'essais. Elles peuvent toutefois se déformer après un grand nombre d'insertions. Par conséquent, il est recommandé de laisser la pile connectée en permanence en se contentant de déconnecter le clip de la pile.

Une simple cellule zinc-carbone ou alcaline a une tension électrique de 1,5 V. Les piles comportent plusieurs cellules montées en série. Les symboles de commutation ci-après indiquent le nombre de cellules dans une pile. Lorsque les tensions sont plus élevées, il est d'usage de représenter les cellules par une ligne tiretée.

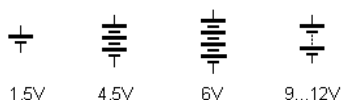


Fig. 4 : Symboles de commutation des différentes piles ((Bat.gif))

Diodes lumineuses

Le kit éducatif comporte deux DEL rouges ainsi qu'une DEL verte et jaune. Avec toutes les diodes lumineuses, il est nécessaire de tenir compte de la polarité. Le connecteur moins est la *cathode*. Elle est sur la patte la plus courte. Le connecteur plus est l'*anode*. L'intérieur de la DEL comporte un support en forme de calice pour le cristal de la DEL placé sur le côté de la cathode. Le connecteur de l'anode est relié à l'aide d'un fil extrêmement fin sur un contact situé sur le côté opposé du cristal. A la différence des ampoules à incandescence, les DEL ne doivent jamais être connectées directement sur une pile. Une résistance série est requise.

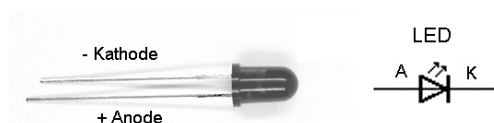


Fig. 5 : Diode électroluminescente ((B_LED.gif))

Résistances

Les résistances disponibles dans le kit éducatif sont des résistances à couche de carbone avec une tolérance de $\pm 5\%$. Le matériau de la résistance est appliqué sur une tige en céramique et est recouvert d'une couche protectrice. L'inscription se présente sous la forme d'anneaux de couleurs. Ils indiquent la valeur de la résistance ainsi que la classe de précision.



Fig. 6 : Une résistance ((B_Widerstand.gif))

Les résistances d'une tolérance de $\pm 5\%$ sont disponibles dans les valeurs de la série E24, chaque décade totalisant 24 valeurs ayant un écart constant avec la valeur voisine.

Tableau 1 : Valeurs des résistances d'après la série normalisée E24

1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6
1,8	2,0	2,2	2,4	2,7	3,0
3,3	3,6	3,9	4,3	4,7	5,1
5,6	6,2	6,8	7,5	8,2	9,1

Le code de couleurs est lu en commençant par l'anneau le plus proche du bord de la résistance. Les deux premiers anneaux représentent deux chiffres, le troisième un multiplicateur de la valeur de résistance en ohms. La valeur de résistance relevée donne la tolérance.

Tableau 2 : Code de couleurs de la résistance

Couleur	Anneau 1 1 ^{er} chiffre	Anneau 2 2 ^{ème} chiffre	Anneau 3 Multiplicateur	Anneau 4 Tolérance
Noir		0	1	
Marron	1	1	10	1 %
Rouge	2	2	100	2 %
Orange	3	3	1 000	

Jaune	4	4	10 000	
Vert	5	5	100 000	0,5 %
Bleu	6	6	1 000 000	
Violet	7	7	10 000 000	
Gris	8	8		
Blanc	9	9		
Or			0,1	5 %
Argent			0,01	10 %

Une résistance avec les anneaux de couleurs jaune, violet, marron et or a ainsi la valeur 470Ω avec une tolérance de 5 %. Le kit éducatif comporte deux résistances aux valeurs ci-après :

470 Ω Jaune, violet, marron
 1 k Ω Marron, noir, rouge
 22 k Ω Rouge, rouge, orange
 470 k Ω Jaune, violet, jaune

Transistors NPN

Les transistors sont des composants destinés à renforcer les courants faibles. Le kit éducatif comporte deux transistors NPN au silicium BC547B. Les connecteurs du transistor sont l' *émetteur* (E), la *base* (B) et le *collecteur* (C). Le connecteur de la base est positionné au centre. L'émetteur est à droite lorsque vous regardez l'inscription et que les connecteurs sont orientés vers le bas.

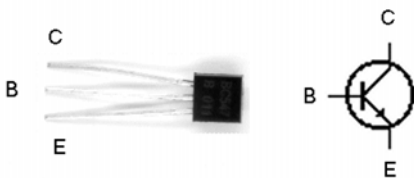


Fig. 7 : Le transistor NPN BC547 ((B_NPN.jpg))

Transistors PNP

Le transistor PNP BC557B utilise la même séquence de connexions et ne se différencie d'un transistor NPN que par la polarité. Le symbole de commutation présente la flèche de l'émetteur orientée vers l'intérieur.

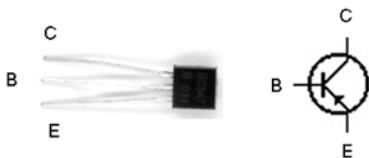


Fig. 8 : Le transistor PNP BC557 ((B_PNP.jpg))

MOSFET

Le transistor à effet de champ (MOSFET) BS170 se présente exactement comme un transistor bipolaire. Il est uniquement identifiable grâce à son inscription. Les connecteurs du transistor sont la *source* (S), la *grille* (G) et le *drain* (D). Le connecteur source est à droite lorsque vous regardez l'inscription et que les connecteurs sont orientés vers le bas.

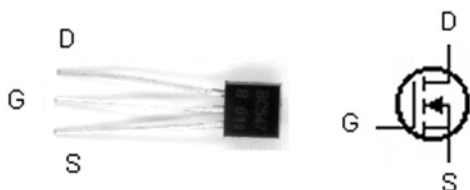


Fig. 9 : Transistor MOSFET BS170 ((B_FET.jpg))

Condensateurs

Le condensateur est un composant électronique important. Il est constitué de deux armatures métalliques et d'une couche isolante. Lorsque l'on crée une tension électrique, un champ électrique se forme entre les plaques du

condensateur pour le stockage de l'énergie. Un condensateur avec une surface importante des plaques et une distance réduite entre les plaques a une capacité élevée, ce qui lui permet de stocker une charge élevée sous une tension donnée. La capacité d'un condensateur est mesurée en farads (F).

L'isolant (diélectrique) augmente la capacité par rapport à une isolation à air. Les condensateurs à disques en céramique utilisent un matériau en céramique spécial permettant d'atteindre des capacités élevées dans un format réduit. Le kit éducatif comporte un condensateur à disques en céramique de 10 nF (inscription 103, 10.000 pF) et deux autres de 100 nF (inscription 104, 100.000 pF).



Fig. 10 : Condensateur céramique ((B_Kondensator.gif))

Condensateur électrolytique

Les capacités élevées sont obtenues à l'aide de condensateurs électrolytiques (Elko). L'isolation est assurée par une très fine couche d'oxyde d'aluminium. Le condensateur électrolytique contient un électrolyte liquide et des feuilles d'aluminium représentant une surface importante. La tension ne peut être créée que dans un sens. Dans le sens incorrect, il se forme un courant de fuite et la couche isolante se désagrège progressivement, entraînant la destruction du composant. La borne moins est repérée par une bande blanche et comporte une patte plus courte.



Fig. 11 : Condensateur électrolytique ((B_Elko.gif))

Etape 2 : Amplification du courant

Le circuit illustré par la figure 12 présente la fonction de base du transistor NPN. On distingue deux circuits électriques. Un courant de base faible circule dans le circuit de commande et un courant collecteur plus important circule dans le circuit de charge. Les deux courants traversent tous deux l'émetteur. L'émetteur est situé sur le point de référence commun du circuit, d'où son nom *circuit à émetteur*. Dès que le circuit de base est ouvert, aucun courant de charge ne circule plus. Le courant de base est beaucoup plus faible que le courant collecteur. Le petit courant de base est donc amplifié de manière à former un courant collecteur plus important. La résistance de base est 470 fois plus importante que la résistance série dans le circuit de charge. Le petit courant de base est reconnaissable à la luminosité plus faible de la DEL verte. Le transistor BC548B amplifie environ 300 fois le courant de base, de sorte que la DEL rouge est beaucoup plus claire que la DEL verte.

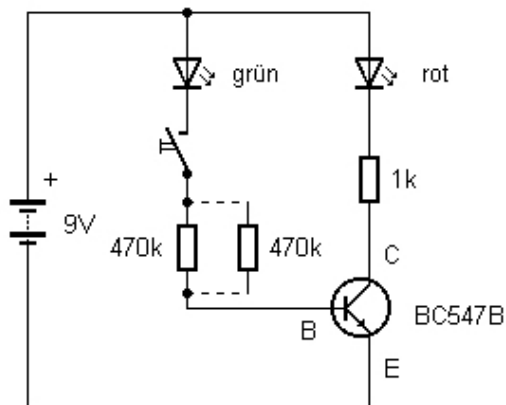


Fig. 12 : Transistor NPN dans un circuit à émetteur ((Schaltung1.jpg))

Connectez une deuxième résistance de 470 kΩ parallèlement à la résistance de base existante. Cela augmente le courant de base ainsi que le courant collecteur. Le transistor est à présent connecté. Ainsi, même un courant de base encore plus important ne peut plus augmenter le courant du collecteur. Si vous connectez une résistance de 22 kΩ en parallèle, la luminosité de la DEL rouge n'augmente pas plus. Le transistor fonctionne désormais comme un commutateur. Il n'y a entre le collecteur et l'émetteur qu'une chute de tension minimale de l'ordre de 0,1 V. Le courant du collecteur est déjà limité par le consommateur et ne peut plus augmenter. On observe entre la base et l'émetteur une tension de l'ordre de 0,6 V, qui ne varie que de manière minimale en cas de variation du courant.

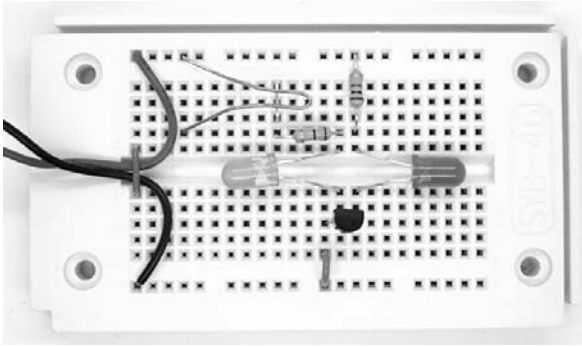


Fig. 13 : Amplification de courant ((F_NPN1.jpg))

Les DEL sont utilisées pour signaler les courants. La DEL rouge s'allume, contrairement à la diode verte, qui s'allume à peine. Le courant de base n'est visible que dans une pièce complètement sombre, avec la DEL verte faiblement allumée. La différence signale une amplification importante du courant.

Etape 3 : inversion du plus et du moins

Un transistor PNP a exactement la même fonction qu'un transistor NPN, mais avec une polarité inverse. Par conséquent, l'émetteur est situé sur la borne plus de la pile.

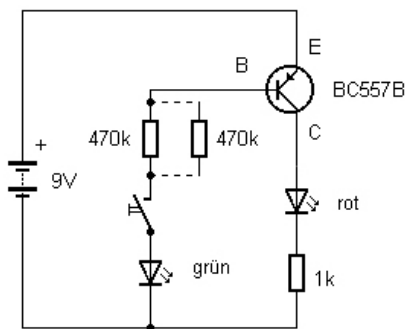


Fig. 14 : Transistor PNP dans un circuit à émetteur ((Schaltung2.jpg))

Montez le circuit avec le transistor PNP BC557 et étudiez ici aussi l'amplification du courant avec différentes résistances de base. Le BC557B comporte également une amplification permettant d'atteindre un courant 300 fois plus élevé.

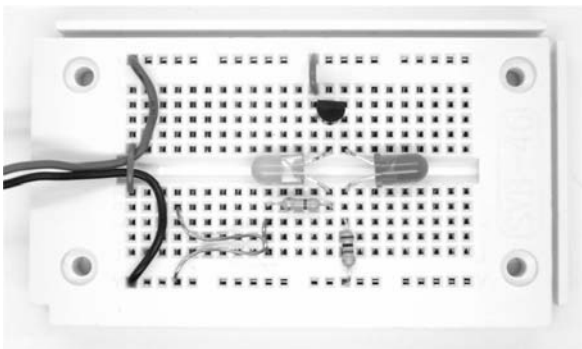


Fig. 15 : Etude de l'amplification de courant du BC557 ((Aufbau2.jpg))

Etape 4 : Commande de temporisation

L'objectif de ce circuit est de réaliser une lampe de poche à DEL avec un maintien automatique de l'éclairage. L'éclairage intérieur des autos fonctionne souvent sur ce principe. Lorsque vous sortez de votre voiture, l'éclairage reste allumé pendant quelque temps avant de s'éteindre lentement.

Si vous placez un condensateur électrolytique sur la pile avec la polarité correcte, il accumule une charge électrique. Cette charge est maintenue après avoir débranché la pile. Le condensateur électrolytique peut être connecté sur une DEL. Il se produit un flash bref. Le condensateur électrolytique se décharge en quelques instants.

L'amplification du courant d'un transistor peut être utilisée pour prolonger le temps de décharge d'un condensateur. Le circuit illustré par la figure 16 utilise un condensateur électrolytique de 100 μF en guise de condensateur de charge.

Après avoir appuyé brièvement sur le bouton, il est chargé et il délivre pendant un certain temps le courant de base du circuit à émetteur.

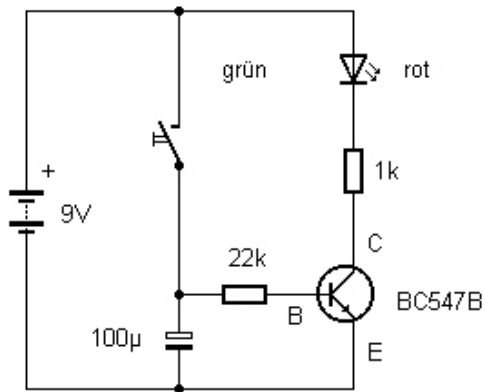


Fig. 16 : Arrêt temporisé ((Schaltung3.jpg))

Le temps de décharge est sensiblement prolongé par la résistance de base élevée. Le condensateur électrolytique est pratiquement déchargé au bout de deux secondes environ. Une fois ce temps écoulé, le courant de base est encore suffisant pour commander plus faiblement le transistor. Le courant du collecteur diminue progressivement.

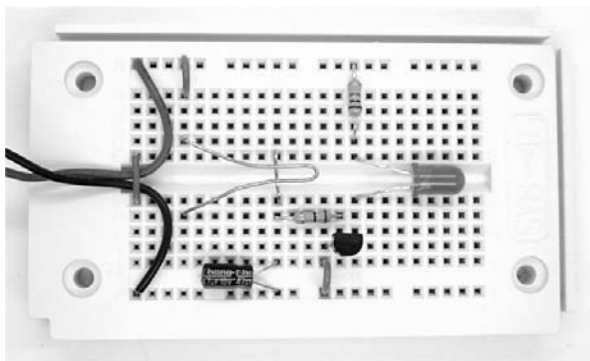


Fig. 17 : Lampe de poche à maintien de l'éclairage ((F_NPN3.jpg))

La DEL reste allumée avec luminosité maximum pendant que vous maintenez le bouton appuyé. La DEL s'allume sur une simple pression sur le bouton. Elle reste ensuite allumée pendant deux secondes environ puis l'intensité lumineuse diminue progressivement.

Au bout d'une minute environ, on observe encore une faible lueur. La DEL ne s'éteint pas complètement même après une période prolongée. Le courant chute toutefois jusqu'à une valeur infime pratiquement inopérante.

Etape 5 : Capteur tactile

Une lampe peut être commutée à l'aide d'un commutateur simple. Vous pouvez monter un capteur tactile à l'aide d'un circuit à transistors approprié. Deux fils ou contacts métalliques ne sont pas directement en contact mais ils doivent simplement être contactés avec un doigt.

Les facteurs d'amplification du courant de deux transistors peuvent être multipliés en amplifiant à nouveau le courant préalablement amplifié du premier transistor délivrant le courant de base du deuxième transistor. Le circuit illustré par la figure 18 est connu sous le nom de *circuit Darlington*.

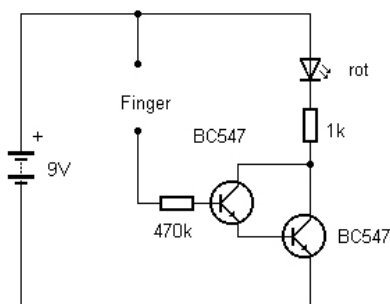


Fig. 18 : Circuit Darlington ((Schaltung4.jpg))

En partant d'un facteur d'amplification de 300 pour chacun des transistors, le circuit Darlington assure une amplification de 90 000 fois. Une résistance de base de 10 M Ω est alors suffisante pour allumer la DEL. En essai réel, il est possible d'utiliser un contact tactile à la place de la résistance à valeur ohmique très élevée. En raison de l'amplification importante, il suffit d'un léger contact avec un doigt sec. La résistance de protection supplémentaire dans le fil allant jusqu'à la batterie protège le transistor dans le cas où les contacts tactiles sont reliés directement de manière accidentelle.

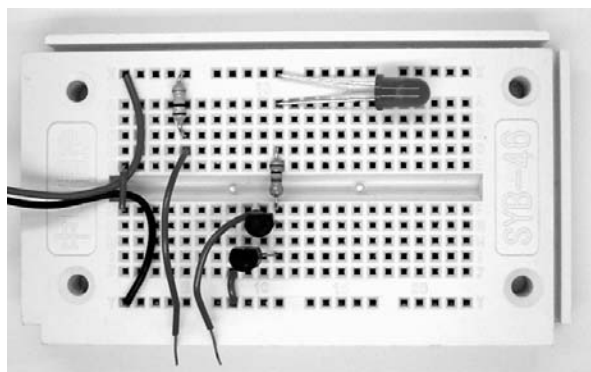


Fig. 19 : Capteur tactile ((F_Darlington1.jpg))

Etape 6 : Détecteur de mouvements

Ce circuit comporte un fil capteur à l'entrée du premier transistor. La DEL s'allume dès que quelqu'un s'approche du fil. Les personnes accumulent sans s'en rendre compte une charge électrique lorsqu'ils circulent sur un sol isolant. Lorsque l'on bouge ensuite à proximité d'objets conducteurs, les forces électrostatiques déplacent les charges électriques, créant ainsi un courant faible, qu'il s'agit d'amplifier ici. Le circuit Darlington commande un transistor PNP permettant d'amplifier à nouveau le courant 300 fois. Il suffit alors de quelques picoampères pour que la DEL rouge soit visible lorsqu'elle est allumée.

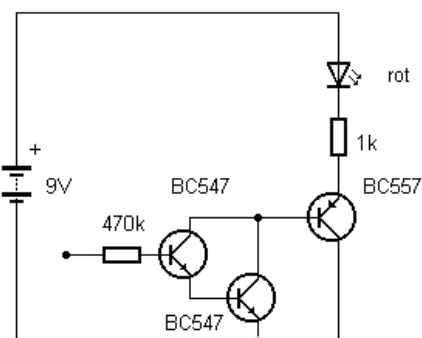


Fig. 20 : Amplification à l'aide de trois transistors ((Schaltung5.jpg))

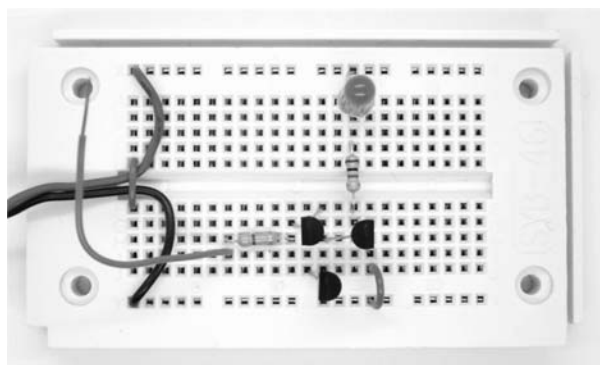


Fig. 21 : Amplification du capteur de champs électriques ((Aufbau5.jpg))

Le premier test du circuit peut utiliser un fil de capteur court de 10 cm de long. Faites quelques pas sur un sol isolant. Vous devriez normalement avoir accumulé une charge électrique suffisante. Déplacez ensuite la main à proximité du fil du capteur. La luminosité de la DEL varie alors.

Vous pouvez augmenter la sensibilité du circuit en y raccordant un fil de capteur plus long. Il peut s'agir d'un fil nu ou d'un câble isolé. L'efficacité du capteur augmente en mettant également la borne moins de la pile à la terre. Il suffit pour cela de demander à une deuxième personne de toucher le circuit. Le circuit détecte le passage d'une personne à un demi-mètre du capteur. Le clignotement de la DEL signale les différentes étapes. Un contact direct de l'extrémité nue du fil est signalé par la DEL allumée en continu. Cela résulte des champs alternatifs à 50 Hz présents inévitablement dans la pièce. La DEL ne reste pas allumée en permanence mais clignote à une fréquence de 50 Hz.

Etape 7 : DEL comme capteur photoélectrique

Ce capteur photoélectrique commande la luminosité d'une DEL. La DEL s'allume lorsque le capteur est éclairé et elle reste éteinte en l'absence de lumière. Le courant circulant à travers la diode est pratiquement nul lorsqu'elle est placée sur une tension dans le sens bloquant. On observe en fait un courant de blocage très faible, par exemple de l'ordre de quelques nanoampères, ce qui est normalement négligeable. L'amplification forte du circuit Darlington permet toutefois de réaliser des expériences avec des courants extrêmement faibles. Ainsi, le courant de blocage d'une diode lumineuse dépend lui-même de l'éclairage. Ainsi, une DEL est en même temps une photodiode. Le courant photoélectrique extrêmement faible de la DEL rouge est amplifié par deux transistors de manière à allumer la DEL verte.

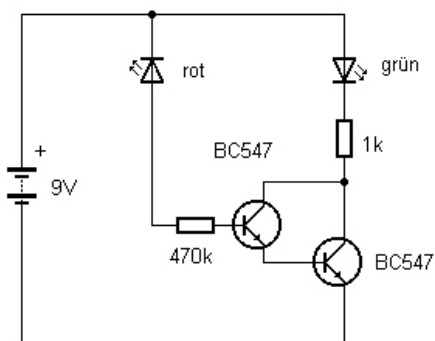


Fig. 22 : Amplification du courant de blocage de la DEL ((Schaltung5.jpg))

Dans cette expérimentation pratique, on observe nettement que la DEL de droite est allumée dans des conditions d'éclairage ambiant normales. On observe ensuite la réaction de la luminosité de la DEL d'affichage lorsque l'on occulte la DEL du capteur à l'aide de la main.

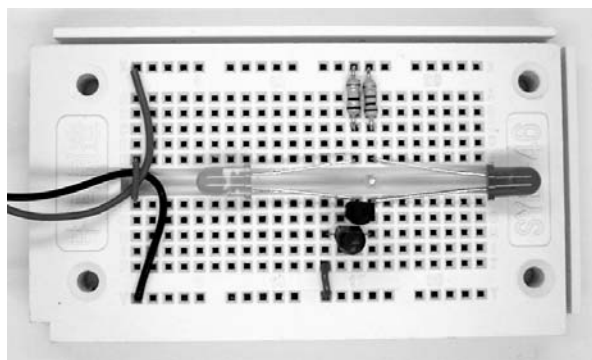


Fig. 23 : Capteur photoélectrique de la DEL ((F_Darlington3.jpg))

Etape 8 : Luminosité constante

Il est parfois nécessaire de disposer d'un courant constant qui soit le moins dépendant possible des variations de tension. Une DEL est normalement allumée avec une luminosité constante même si la tension de la pile est plus faible. Le circuit illustré par la figure 24 présente un circuit de stabilisation simple. Une DEL rouge en entrée stabilise la tension de base à 1,8 V environ. La tension de base de l'émetteur se maintient autour de 0,6 V, ce qui donne une tension de 1,2 V environ sur la résistance de l'émetteur. La résistance détermine donc le courant de l'émetteur et ainsi celui du collecteur de 2,5 mA environ.

Le courant des DEL étant régulé par le transistor, les DEL dans le circuit du collecteur n'ont pas besoin de résistance série. La source de courant constante fonctionne aussi avec des charges variables. Que vous utilisiez les deux DEL dans le circuit du collecteur ou que vous en court-circuitiez l'une des deux, le courant du collecteur reste stable dans les deux cas.

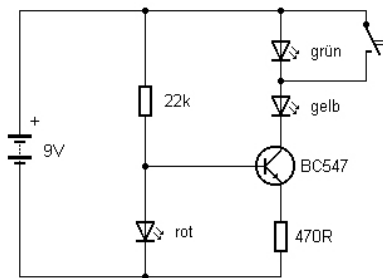


Fig. 24 : Source électrique stabilisée ((Schaltung7.jpg))

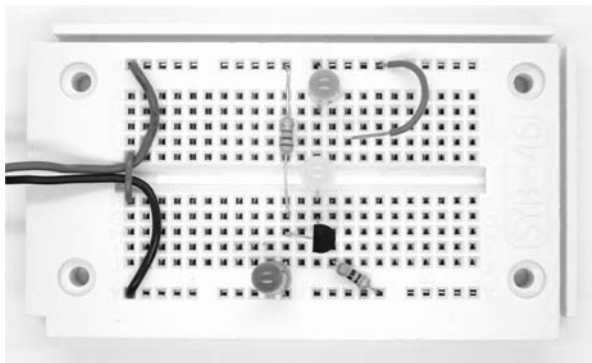


Fig. 25 : Stabilisation de la luminosité de la DEL ((Aufbau7.jpg))

Vérifiez les résultats à l'aide d'une pile neuve et d'une pile fortement usagée. La DEL conserve une luminosité pratiquement constante tant qu'il reste une tension résiduelle. La tension de la pile avec une seule DEL peut être plus faible qu'avec deux DEL, auquel cas, il doit encore rester au moins 6 V.

Etape 9 : Capteur de température

Ce circuit montre les variations de température à l'aide de la luminosité des DEL. Il suffit de toucher le capteur de température avec le doigt. Le circuit illustré par la figure 26 présente un miroir de courant. Le courant traversant la résistance de 1 kΩ est répliqué dans les deux transistors et réapparaît avec une valeur pratiquement identique sous forme de courant collecteur du transistor de droite. La base et l'émetteur étant connectés sur le transistor de gauche, une tension de base de l'émetteur de l'ordre de 0,6 V se forme automatiquement en direction du courant prédéfini du collecteur. En théorie, le deuxième transistor doit présenter le même courant collecteur avec des données strictement identiques et une tension de base de l'émetteur identique. Dans la pratique, cela donne généralement des différences minimes. Le miroir de courant fonctionne en même temps comme une source électrique constante. Par conséquent, la luminosité de la DEL jaune ne change pas lorsque vous pontez la DEL verte.

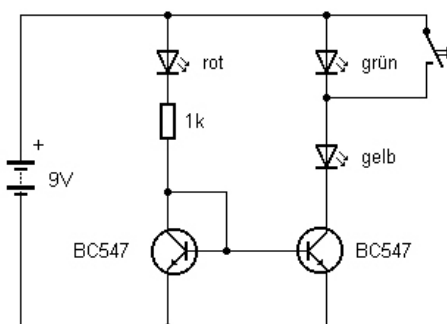


Fig. 26 : Miroir de courant ((Schaltung8.jpg))

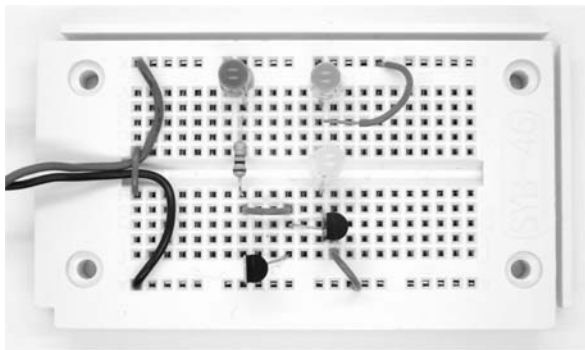


Fig. 27 : Transistor comme capteur de température ((Aufbau8.jpg))

Le circuit est utilisable comme un capteur de température sensible. Touchez l'un des transistors du doigt. Le réchauffement qui se produit alors modifie le courant de sortie et est matérialisé par la variation de luminosité des DEL. Selon le transistor que vous choisissez de toucher, vous pouvez augmenter ou diminuer légèrement la luminosité de la DEL de droite. Vous pouvez obtenir une augmentation de 10 °C environ à l'aide du doigt, en fonction de la température ambiante, ce qui donne déjà un résultat nettement visible. La différence de luminosité est encore plus nette si vous réchauffez avec précaution le transistor à l'aide d'un fer à souder.

Etape 10 : Ouverture et fermeture

Nous passons au numérique : A la différence des circuits analogiques, dans lesquels la quantité de courant qui circule est plus ou moins importante, les circuits numériques sont soit complètement ouverts soit complètement fermés. Les états *Ouvert* et *Fermé* sont représentés par la valeur *Un* et *Zéro*. Le circuit présenté ici peut être considéré comme un composant informatique de base.

Les circuits à deux états stables portent le nom de *circuits bistables* ou de *bascules bistables*. Une DEL est soit ouverte soit fermée, mais n'est jamais "à moitié ouverte". Le circuit illustré par la figure 28 présente un circuit bistable simple. Le circuit comporte en principe deux étages d'amplification couplés avec une rétroaction fermée.

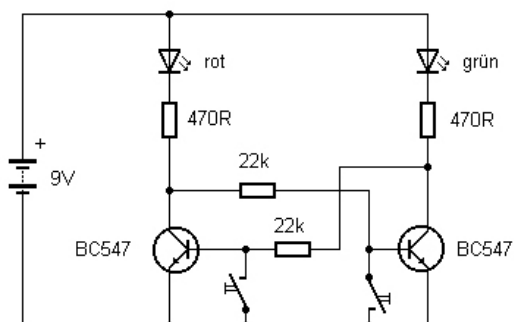


Fig. 28 : Bascule bistable ((Schaltung9.jpg))

Le circuit bascule sur l'un des deux états possibles : Lorsque le transistor de droite est conducteur, celui de gauche est fermé, et vice-versa. Le transistor conducteur possède une tension de collecteur faible, qui lui permet d'interrompre le courant de base de l'autre transistor. C'est la raison par laquelle un état de commutation choisi reste stable jusqu'à ce qu'il soit modifié par l'un des boutons.

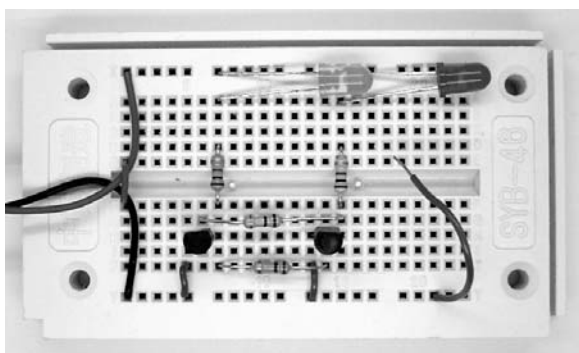


Fig. 29 : Circuit bistable ((F_Flipflop1.jpg))

Mettez le circuit sous tension de service. Vous pouvez observer qu'une des deux DEL s'allume. Il n'est pas possible de prévoir quel côté sera activé. La plupart du temps, le côté sur lequel le circuit bascule est déterminé par le différentiel d'amplification électrique des transistors.

Utilisez à présent un pont de fil pour fermer l'un des deux transistors. L'état choisi est maintenu après avoir enlevé le pont. Les deux états sont *définies* (Set, S) et *réinitialisées* (Reset, R), d'où le nom *RS-Flipflop*.

Etape 11 : Allumé et éteint

Il est également possible de monter un circuit bistable à l'aide d'un transistor NPN et PNP. Le courant du collecteur d'un transistor constitue en même temps le courant de base de l'autre transistor. De cette manière, les transistors sont tous deux soit fermés soit conducteurs. Après l'activation, le circuit est tout d'abord en état fermé. Une modification du commutateur sur S1 modifie l'état conducteur; Cet état est mémorisé et est maintenu jusqu'à ce que la tension d'alimentation est maintenue. Le transistors ne reviennent à l'état fermé qu'après avoir désactivé la tension de service.

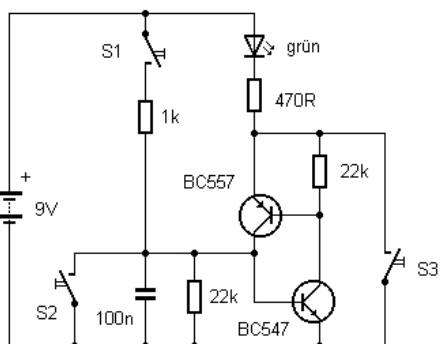


Fig. 30 : Conducteur et Fermeture ((Schaltung10.jpg))

Une connexion courte S1 vous permet de mettre en marche le circuit de manière à allumer la DEL. A l'inverse, S2 permet de supprimer l'état conducteur. S3 allume la DEL mais supprime en même temps l'état conducteur des transistors. La DEL est donc éteinte après l'ouverture de S3.

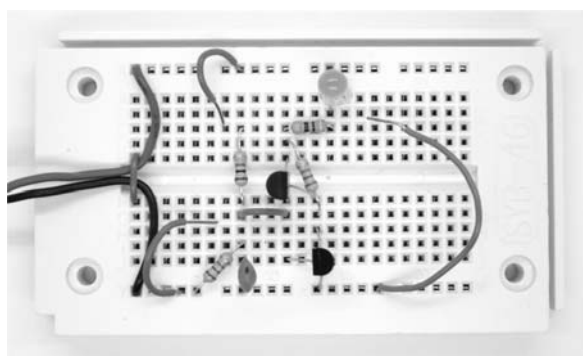


Fig. 31 : Ouvert ou fermé ((Aufbau10.jpg))

Etape 12 : Clignotant symétrique

Ce clignotant électronique fonctionne de manière symétrique : deux DEL doivent être commutées automatiquement de manière à n'en laisser toujours qu'une ouverte. Le circuit de clignotant illustré par la figure 32 est connu sous le nom de *multivibrateur*. La rétroaction s'effectue via deux condensateurs. Les condensateurs électrolytiques nécessitent de tenir compte de la polarité, la tension sur le collecteur est plus élevée dans le milieu que dans la base située à l'opposé. L'état de commutation reste stable jusqu'à ce que les condensateurs soient rechargés. Le circuit bascule ensuite vers l'autre état. Avec deux condensateurs électrolytiques de 100 μ F, la fréquence du clignotement est très faible et n'atteint pas cinq changements complets à la minute.

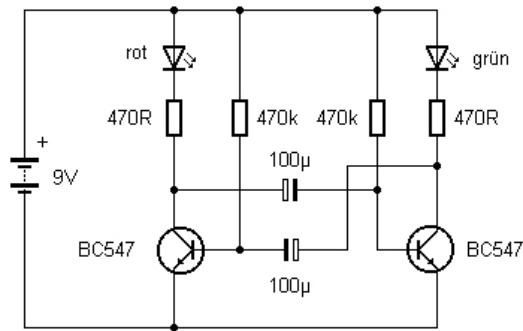


Fig. 32 : Multivibrateur ((Schaltung11.jpg))

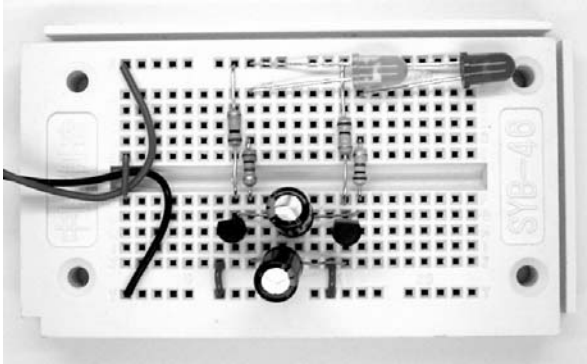


Fig. 33 : Clignotant intermittent lent ((F_Blinker1.jpg))

Etape 13 : Clignotant à DEL simple

Un clignotant dans un véhicule ne commande habituellement qu'une seule ampoule. Voici un autre montage à bascule commutant de manière autonome. Le circuit utilise un condensateur unique. Deux transistors sur le circuit émetteur constituent un amplificateur. La rétroaction de la sortie sur l'entrée fait appel à un condensateur qui se charge et décharge en continu.

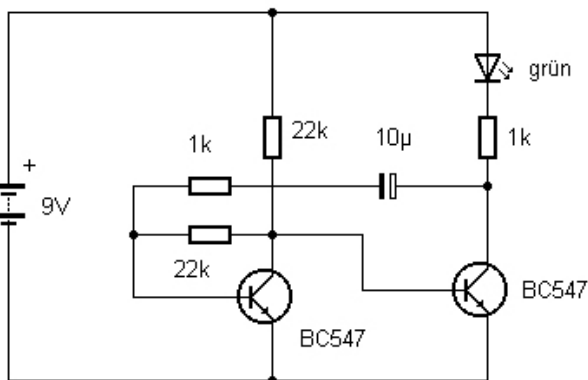


Fig. 34 : Multivibrateur ((Schaltung12.jpg))

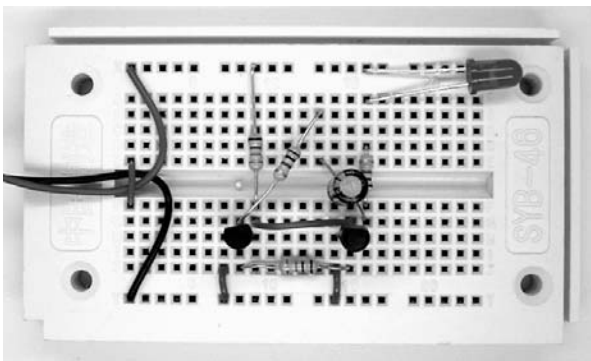


Fig. 35 : Clignotant à DEL ((F_Blinker2.jpg))

Etape 14 : • Flash à DEL

Ce circuit crée des flashes courts à intervalles réguliers. Les trois transistors sont tous fermés pendant toute la durée de la charge du condensateur. La tension sur la base du transistor central augmente lentement. Lorsque la tension se rapproche de +0,6 V, le transistor du milieu commence à conduire et fournit le courant de base pour le transistor PNP. La tension de son collecteur augmente et allume la DEL. Dans le même temps, le condensateur électrolytique fournit un courant de base puissant et de courte durée. Le transistor de gauche dans le circuit veille à ce que le circuit fonctionne à la bonne fréquence de travail. La fréquence est de l'ordre d'un flash par seconde.

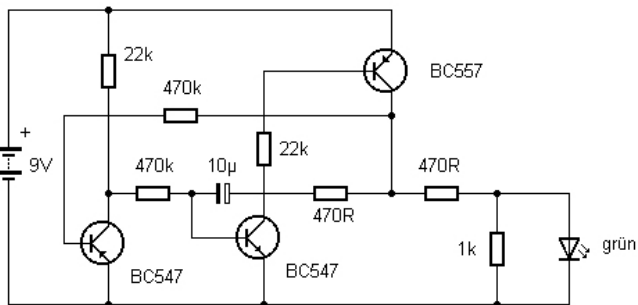


Fig. 36 : Circuit flash ((Schaltung13.jpg))

Retirez la résistance de 1 kΩ montée en parallèle avec la DEL : La pause entre les flash augmente alors sensiblement. Le transistor de gauche ne se ferme qu'une fois le condensateur électrolytique complètement déchargé. La tension du collecteur augmente alors lentement afin de permettre une nouvelle impulsion.

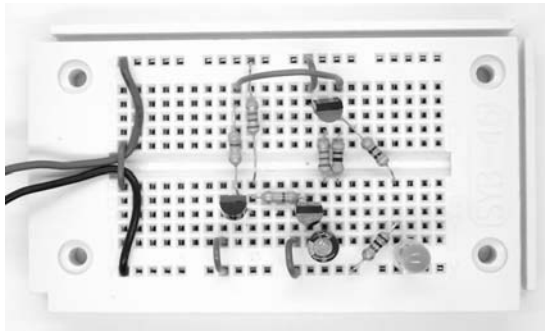


Fig. 37 : Flash à DEL ((Aufbau13.jpg))

Etape 15 : Capteur tactile MOSFET

Ce circuit avec le MOSFET BS170 (transistor à effet de champ à semi-conducteur métal-oxyde, de l'anglais metal oxide semiconductor field-effect transistor) commande une DEL à l'aide de deux paires de contacts connectés directement ou à l'aide d'un doigt. L'état se maintient pendant un certain temps après une brève connexion des contacts.

Le transistor NPN a été présenté dans la première expérimentation avec un circuit de base simple. Un courant de base est nécessaire afin de permettre au courant du collecteur de se former. Une expérimentation analogue avec le MOSFET BS170 fait apparaître un comportement complètement différent. Le MOSFET utilise les trois bornes *grille* (G), *source* (S) et *drain* (D). Ici, le courant commandé ne dépend pas d'un courant en entrée mais de la tension créée entre G et S. Le transistor conduit lorsque la grille a une tension positive de 2 V environ. La borne de la grille est totalement isolée et forme un petit condensateur de 20 pF environ. C'est pourquoi la tension de la grille se maintient longtemps lorsque la grille est chargée.

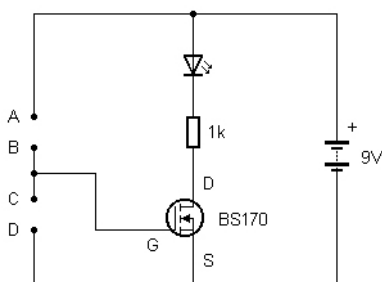


Fig. 38 : Circuit de base du MOSFET ((Schaltung14.jpg))

Connectez brièvement les bornes A et B pour charger la grille. La DEL s'allume et le reste. Connectez les contacts C et D pour décharger la grille et désactiver la DEL. Chacun des deux états possibles se maintient de manière prolongée. Cette expérimentation démontre ainsi le principe de fonctionnement d'un accumulateur dynamique utilisé pour accumuler par ailleurs une charge électrique afin de représenter des états zéro et un. Dans le même temps, le circuit est un commutateur à contact, le contact tactile avec les contacts A et B ou C et D agit comme un contact direct.

Attention ! La tension de la grille ne doit pas dépasser 20 V au risque de détériorer le transistor ! Il est donc indispensable d'éviter tout risque de décharge électrostatique. Pour ce faire, vous devez auparavant toucher une borne de la tension de service afin de canaliser les charges éventuelles. Deux personnes touchant le même circuit constituent un risque important pour le transistor. Le risque de différentiel de charge peut provoquer une décharge avec le transistor et le détériorer.

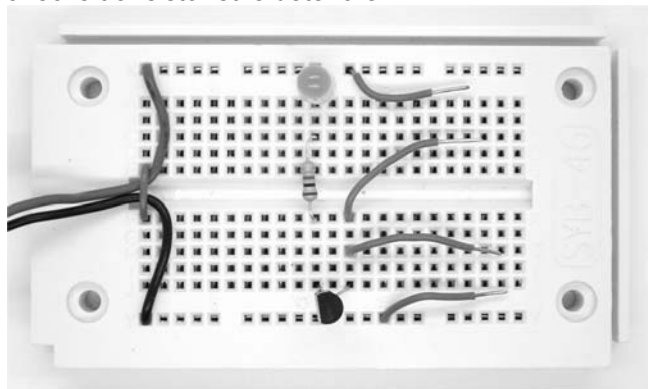


Fig. 39 : Charge et décharge de la grille ((Aufbau14.jpg))

Etape 16 : Gradateur à capteur

L'ajout d'un condensateur entre la grille et le drain permet de conserver les états intermédiaires entre "complètement ouvert" et "complètement fermé". Lorsque la tension sur la grille diminue, le courant du drain diminue lui aussi, avec la tension sur la DEL et sa résistance série. La tension du drain augmente par conséquent. Ceci n'est possible que si le condensateur est chargé. Toute modification de la tension du drain se traduit par une modification de la tension de la grille. C'est pourquoi la luminosité de la DEL varia lentement lorsque le courant en entrée est faible. La luminosité de la DEL augmente après un contact tactile avec les contacts A et B. Touchez les contacts C et B pour diminuer la luminosité. La vitesse de réaction à un contact tactile est variable. La luminosité augmente plus rapidement qu'elle ne diminue, en raison d'une tension de charge plus élevée.

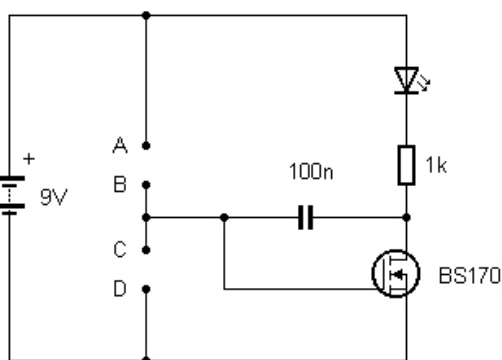


Fig. 40 : Gradateur tactile ((Schaltung15.jpg))

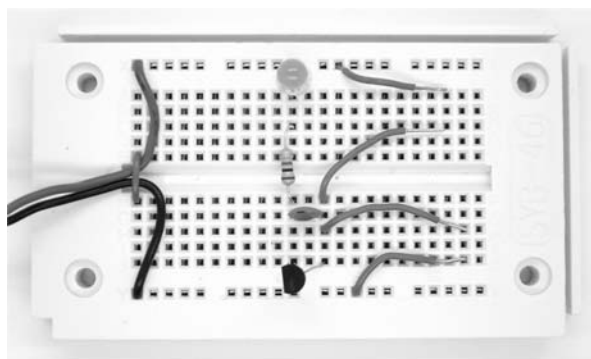


Fig. 41 : Luminosité ajustable ((Aufbau15.jpg))

Etape 17 : Electromètre

L'électromètre est un appareil de mesure chargé de mettre en évidence les charges électriques. Les objets ou les personnes chargés électriquement sont entourés d'un champ électrique permettant de charger par influence les objets isolés voisins. Cette propriété s'applique également à la grille isolée du BS170. Un fil isolé est raccordé à l'entrée du circuit. Les charges électriques ambiantes ont une incidence sur la luminosité de la DEL. Vous pouvez par exemple frotter une règle en plastique sur un tissu et la tenir à proximité du circuit. Gardez une distance de sécurité de 10 cm pour éviter d'endommager le MOSFET.

L'état initial après l'activation est indéterminé, le transistor peut donc être complètement fermé ou complètement conducteur. Dans les deux cas, de petites variations de la tension de la grille sont sans effet. C'est la raison de la présence de l'interrupteur de démarrage, utilisé pour relier brièvement la grille et le drain. La tension de la grille se situe dans la zone médiane autour de 2 V.

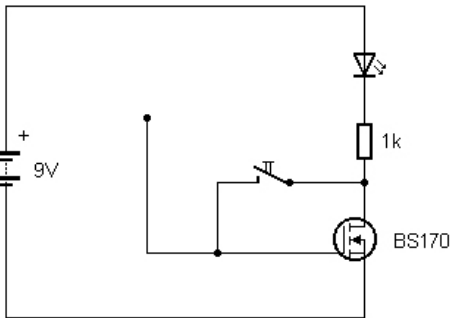


Fig. 42 : Electromètre ((Schaltung16.jpg))

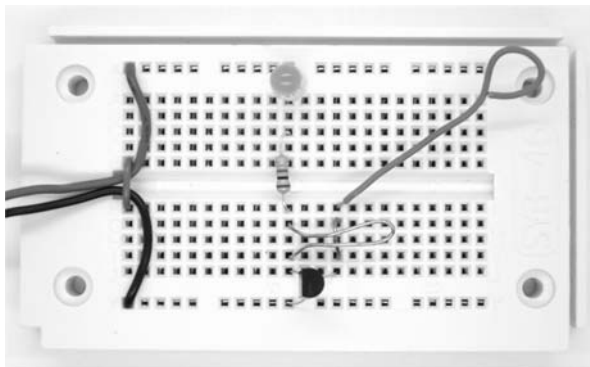


Fig. 43 : Mise en évidence des charges électriques ((Aufbau16.jpg))

Etape 18 : DEL comme cellules photoélectriques

Cette expérimentation présente une variante supplémentaire de montage d'un capteur photoélectrique simple. Le composant utilisé ici est un BS170. Deux DEL font office de capteurs photoélectriques. Deux transistors NPN en commutation Darlington ont permis d'utiliser au chap. 16 une DEL en guise de capteur photoélectrique. La résistance en entrée pratiquement illimitée du MOSFET lui permet de prendre en charge à lui tout seul cette même fonction. En revanche, le circuit utilisera deux DEL en guise de capteurs photoélectriques. Les DEL sont utilisés sous forme d'éléments photoélectriques susceptibles de délivrer une tension. Le BS170 est conducteur à partir d'une tension de grille de 2 V. Deux DEL utilisées conjointement peuvent générer la tension requise avec un éclairage suffisant. Une luminosité faible est suffisante pour obtenir un effet. Expérimentez aussi avec différentes DEL. Une DEL verte délivre une tension légèrement supérieure à celle d'une DEL rouge.

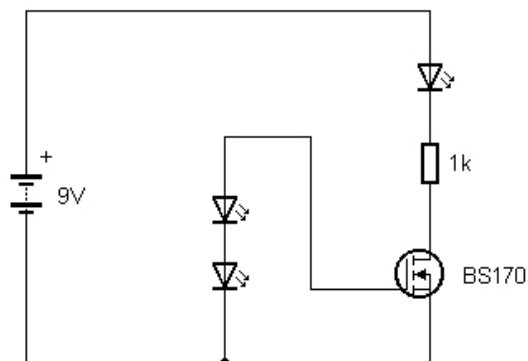


Fig. 44 : DEL comme éléments photoélectriques ((Schaltung17.jpg))

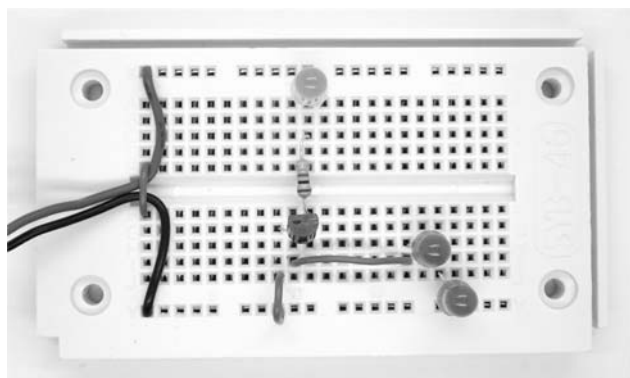


Fig. 45 : Capteur photoélectrique ((Aufbau17.jpg))

Etape 19 : Capteur de température à condensateur

Un condensateur céramique de 100 nF est utilisable comme un capteur de température. Ce type de condensateur possède un coefficient de température élevé. La capacité diminue avec le réchauffement. Dans cette expérimentation, nous voulons que le commutateur soit tout d'abord fermé puis réouvert. La tension de la grille est réglée automatiquement sur la tension seuil de 2 V environ, et la DEL est allumée. Une tension de 7 V environ est mesurée sur le condensateur de 100 nF.

Touchez légèrement le condensateur du doigt. La température du composant augmente. La charge accumulée dans le condensateur reste constante. En revanche, la tension du condensateur augmente en raison de la baisse de capacité. Cela réduit la tension de la grille et, par corollaire, le courant du drain. Il suffit de toucher légèrement le composant pour que la DEL soit nettement moins lumineuse. Le circuit est plus sensible aux variations de température minimales que le circuit à transistor présenté au chap. 18. La DEL retrouve sa luminosité initiale dès que le condensateur du capteur est à nouveau refroidi.

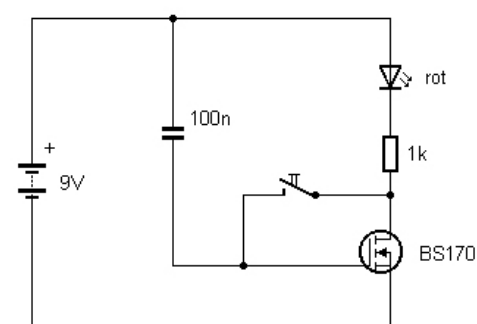


Fig. 46 : Evaluation de la tension du condensateur ((Schaltung18.jpg))

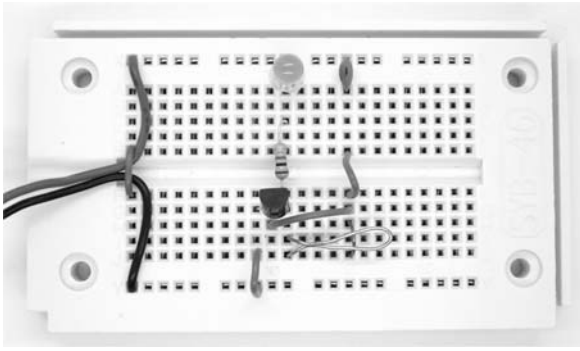


Fig. 47 : Capteur de température ((Aufbau18.jpg))

Etape 20 : Eclairage temporisé

La lumière est allumée en pressant sur le bouton et reste allumée pendant une minute environ. Le passage entre la phase claire et la phase sombre est progressif mais relativement rapide. Le condensateur électrolytique est chargé à 9 V en pressant sur un bouton. Il se décharge par une résistance de 470 k Ω . Tant que la tension de la grille dépasse 2,6 V, le FET conduit et fournit un courant de base pour le transistor NPN chargé d'allumer la DEL. La conductivité du FET diminue lorsque la tension en entrée baisse. Dès que la tension de base du transistor NPN est inférieure à 0,6 V, aucun courant notable ne circule plus sur le collecteur et la DEL s'éteint alors.

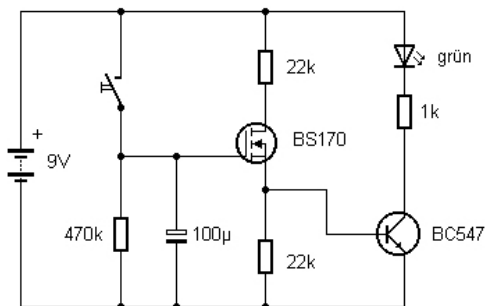


Fig. 48 : Décharge lente du condensateur ((Schaltung19.jpg))

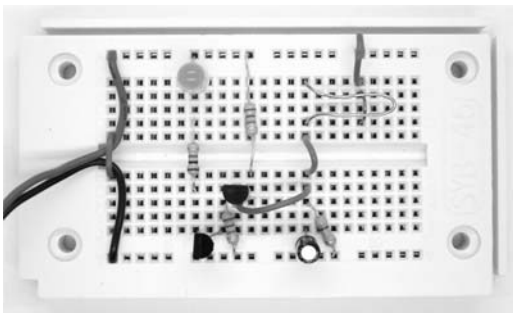


Fig. 49 : Eclairage temporisé ((Aufbau19.jpg))

Etape 21 : Clignotant progressif

Un clignotant à DEL à fluctuation progressive de la luminosité peut contribuer à détendre l'observateur lorsque la fréquence est convenablement choisie. La luminosité suit une courbe sinusoïdale. Ce circuit commande deux DEL en opposition de phase. La lumière passe donc entre le rouge et le vert de manière progressive.

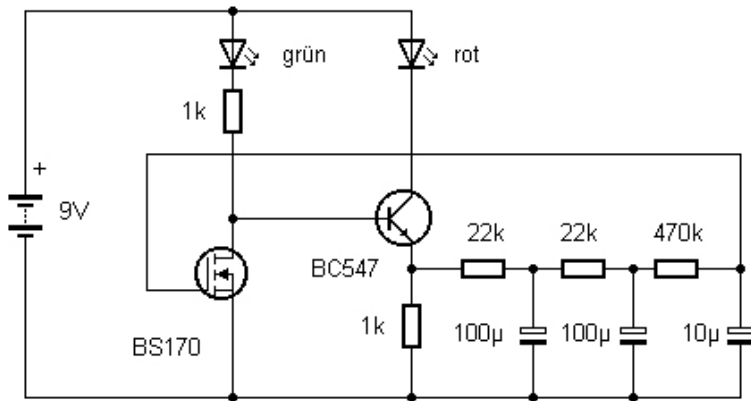


Fig. 50 : Oscillateur à décalage de phase ((Schaltung20.jpg))

Les condensateurs électrolytiques sont encore déchargés lors de la mise en marche du circuit. Le BS170 est alors fermé, tandis que le transistor est conducteur. Dans un premier temps, seule la DEL rouge est allumée. Le circuit essaie ensuite d'osciller à un niveau de courant intermédiaire, mais il passe constamment en suroscillation et il génère un signal sinusoïdal dans lequel l'un puis l'autre des transistors est conducteur.

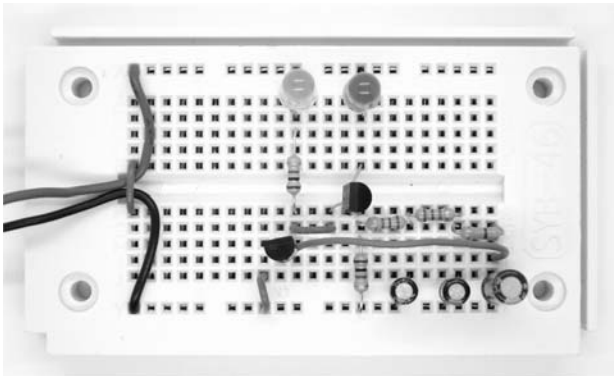


Fig. 51 : Clignotant progressif ((Aufbau20.jpg))