

A l'occasion du changement de mes raccords rapides trop fragiles, j'ai entrepris d'étalonner les afficheurs d'essence, barres et voyant de réserve.

1. Capteurs de niveau d'essence

1.1. Jauge d'essence (affichage à barres de l'essence)

Cette jauge est activée par un long capteur d'environ 50 cm qui traverse la partie droite du réservoir de haut en bas. Ce capteur est fait par un fil en U, un flotteur glisse le long de ce fil et court-circuite le U en fonction du niveau d'essence. Un amortissement existe par la limitation de la section d'échange du flux d'essence, pour limiter l'usure du capteur.

La campagne de mesures (il y a près de 110 mesures !) est faite selon le protocole suivant :

- moto sur béquille centrale et toujours maintenue en appui sur la roue arrière
- vidange totale par la pompe électrique du réservoir (vidange réaliste)
- remplissage du réservoir par étapes de 0,5 litres, attente de stabilisation
- mesures électriques (batterie maintenue au même niveau de charge par chargeur régulé en tension)
- arrêt du remplissage lorsque l'essence arrive et reste en haut du plat du cuvelage d'entrée (le trop plein n'a pas encore agi)

Deux jeux de mesures sont faits : tension capteur et barres affichées

- un jeu de mesures après démontage complet du réservoir et transfert de l'essence du corps gauche vers le corps droit préalablement vidé, remontage et vidange par le pompe du réservoir.
- un jeu de mesures corps gauche non vidé et indication de l'alarme de réserve



le réservoir, vu de l'avant

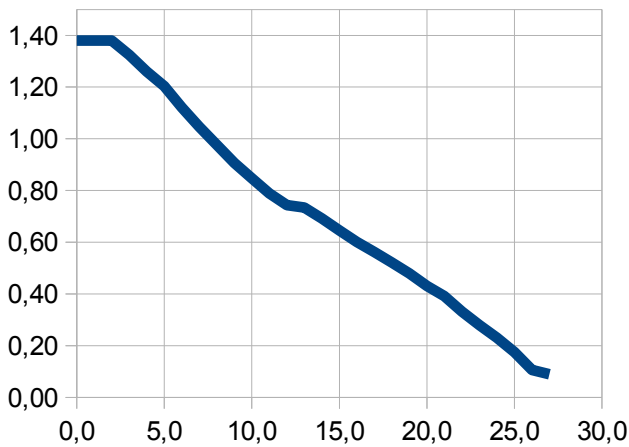
Le côté droit
le trait montre le capteur
qui traverse
tout le réservoir



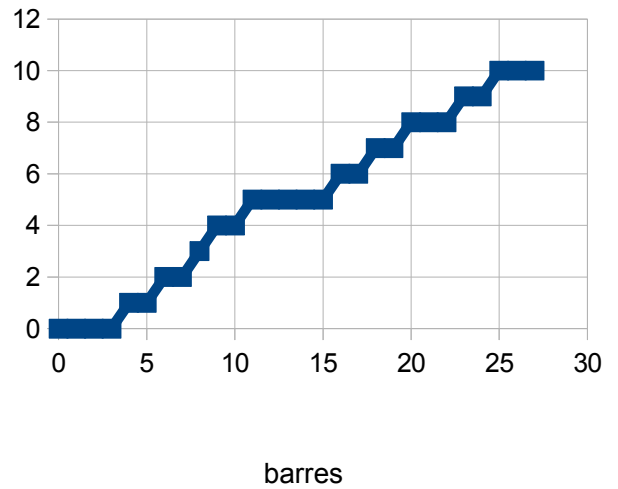
le côté gauche



a) premier jeu de mesures (corps gauche vide)



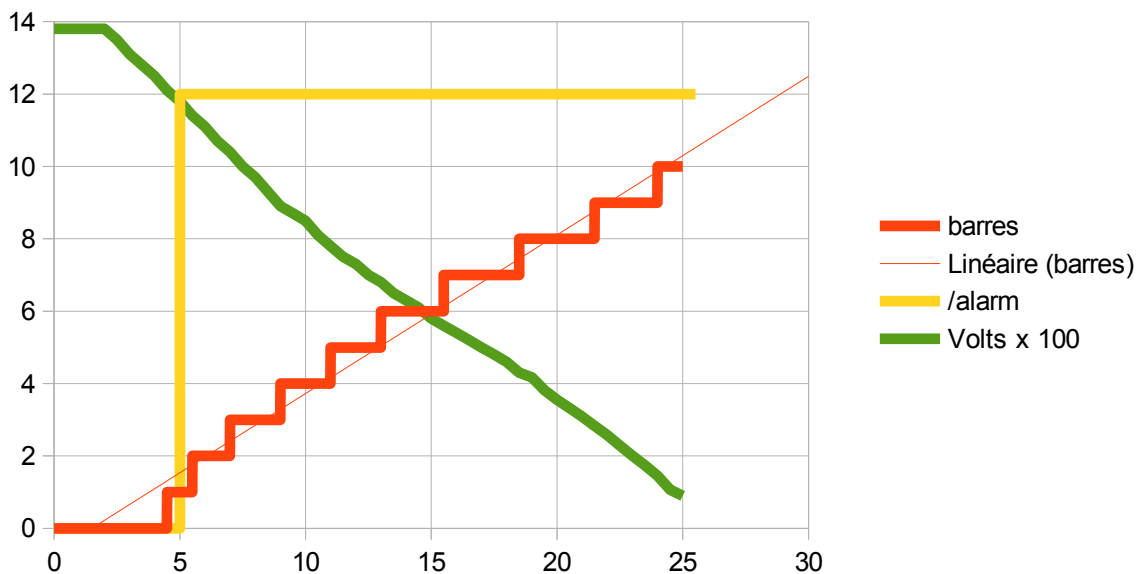
tension capteur



barres

La capacité totale s'avère être de 27 litres. En dessous de 2,5 litres, le capteur ne voit rien et l'afficheur reste à zéro barres en dessous de 4 litres. En fait En démontant la jauge, je me suis aperçu que le précédent propriétaire avait remonté la jauge avec un décalage de 1/6 de tour en changeant le filtre à essence, ce qui a diminué (un peu seulement) la capacité totale. Il y a un fond de cuve jamais utilisable de 2,25 litres quand même.

b) Second jeu de mesures (corps gauche plein)



Résultats des mesures

La tension de sortie de jauge a été multipliée par 100 pour mise à une échelle commune
Une régression linéaire est rajoutée pour mettre en évidence la non-linéarité de l'affichage

Constats :

La capacité passe à 25,5 litres, il y a donc 1,5 litre inutilisable dans le corps gauche, à moins de secouer la moto pour transférer l'essence à droite.

Le voyant réserve s'allume quand il reste 5 litres dans le réservoir. Il y a un recouvrement entre les signaux transmis par les deux capteurs : l'électronique de l'afficheur à barres serait parfaitement capable de créer le signal d'alarme par un seuil électrique. Ce n'est pas le choix de BMW qui a préféré rajouter un capteur séparé pour le voyant de réserve.

Il y a une forte non-linéarité : l'allumage d'une barre n'a pas la même signification selon le remplissage du réservoir (de un à quatre litres par barre) et la « pente » de l'afficheur varie au cours de la consommation.

BMW n'a pas utilisé totalement le volume disponible du coté gauche. Sans doute (ce n'est que mon avis) pour éviter d'utiliser une seconde pompe avec valves, ou un tube de jonction entre les deux cotés.

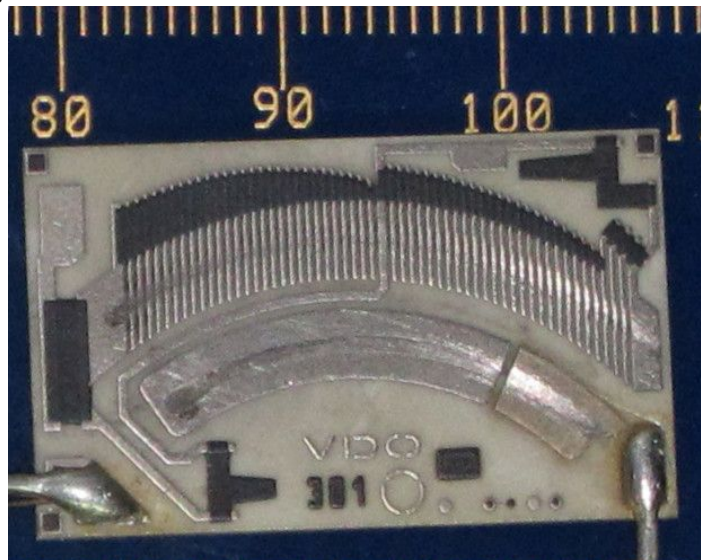
1.2. Jauge d'alarme (voyant réserve)

Cette jauge est faite par un capteur à levier : un levier articulé muni d'un flotteur décrit un arc de 90° en fonction du niveau d'essence. Un curseur double glisse sur des pistes conductrices entre lesquelles sont déposées des résistances (technique de circuit hybride à couches épaisses). C'est en fait un interrupteur à 56 positions avec autant de résistances, qui fonctionne comme un potentiomètre à pas discrets. Ces résistances élémentaires ne sont pas ici ajustées individuellement mais deux résistances agissant l'une sur la moitié haute l'autre sur la moitié basse, sont ajustées au laser. L'hybride fonctionne de la manière suivante : le curseur, entraîné par le flotteur court-circuite la piste large (vers le marquage VDO) avec une des petites pistes, ce curseur est relié à la soudure du bas à gauche (la masse). Mais pour que cela fonctionne, il faut que l'emplacement de brasure (le pad) en haut à gauche soit relié à quelque chose, or **aucun fil n'a jamais été brasé sur cette sortie !** Alors que le sous-traitant VDO a pris la peine d'ajuster au laser deux des résistances !

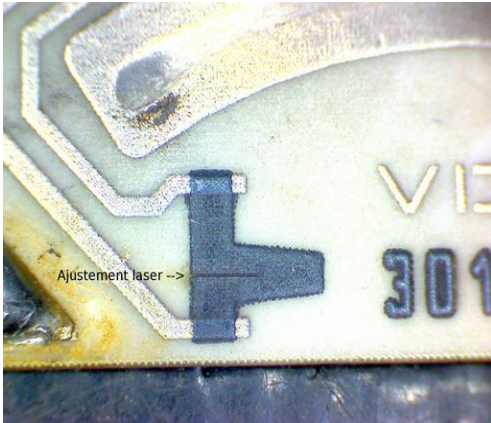
La piste large du bas est coupée à son cinquième et un fil est connecté à son pad de sortie : c'est la sortie du voyant de réserve, reliée au tableau de bord via un boîtier électronique (en forme de relais, placé dans la boîte à fusibles / relais) amortissant le signal par un délai de 15 secondes environ.

Le flotteur en position haute est situé bien en-dessous du niveau de réservoir plein, en fait vers la moitié de la hauteur, il n'est utilisable (mais non branché) que dans la partie basse du réservoir. On réalise bien, en voyant la forme complexe du réservoir, qu'il est difficile de trouver un emplacement où le débattement du levier décrive la totalité de l'utilisation du carburant. On voit très bien les marques d'usure dues aux curseurs, avec une usure très importante coté réservoir plein, je ne sais pas combien de km (de pleins) ce capteur a pu voir.

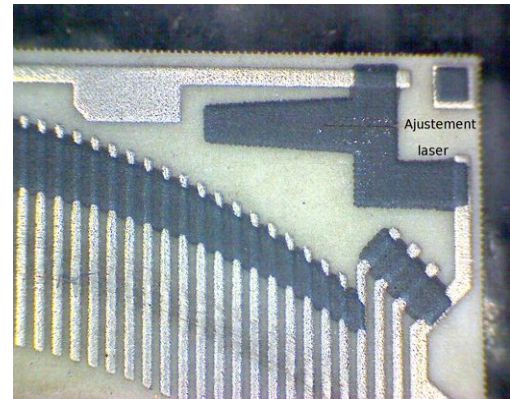
On constate aussi que pendant la partie d'affichage d'alarme, il reste encore une dizaine de résistances élémentaires qui permettraient un affichage significatif.



Le bloc pompe-filtre-capteur



le circuit hybride couche épaisse



détails du circuit hybride

D'aucuns m'ont suggéré de souder le fil manquant et de m'en servir pour augmenter la résolution pendant la phase de réserve. Il y a là une dizaine de pas éventuellement utilisables pendant la phase réserve (5 litres). En utilisant le capteur normal, la tension talonne jusqu'à plus de 2 litres, c'est cette zone qui pourrait être éventuellement détaillée. J'estime que le jeu n'en vaut pas la chandelle puisqu'il faut créer au moins une sortie électrique du réservoir, ETANCHE et FIABLE (résistant notamment à l'essence et à l'alcool). Ceci ne sera en plus pas reproductible par n'importe qui, et je ne veux pas être accusé d'avoir été la cause d'une fuite d'essence voire d'un incendie chez un mauvais bricoleur. Je reste à mon affichage de 2,5 litres par barre, avec l'indication de la réserve à 5 litres maintenue. Ce capteur ne dispose pas vraiment d'amortissement hors la friction du curseur.

1.3. Conclusions sur l'affichage d'origine

BMW a fait le choix d'utiliser deux capteurs chacun capable d'indiquer aussi bien la quantité d'essence que l'alarme de réserve, chaque capteur est spécialisé dans sa fonction quantité d'essence ou alarme de réserve. Il est possible que BMW ait préféré avoir deux chaînes d'affichage distinctes pouvant quand même prévenir l'approche de la panne sèche (jauge à fil avec RID, capteur à levier avec lampe). BM ne veut pas être responsable du rapatriement du corps dans des déserts stationservisques (Sahara, Gobi, Atacama, Auvergne de nuit, ...), enfin ce n'est que mon avis, et pour cela, il existe des capteurs d'alarme de réserve moins chers.

Il existe une partie du réservoir, normalement inutilisable, de 1,5 litres (étonnamment faible, en considérant la forme tourmentée du réservoir) et la capacité totale est de 25,5 litres. BMW annonce 26 litres, j'arrête sans doute le remplissage un peu plus tôt que BMW.

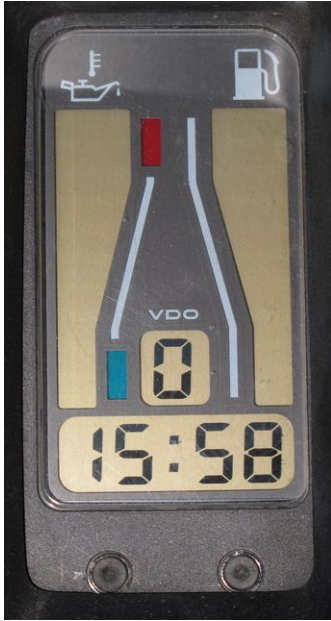
L'affichage symbolique par barres LCD n'a qu'une valeur indicative et aucune linéarité (une barre signifie de 1 à 4 litres selon le remplissage).

Je dispose maintenant des éléments me permettant de créer et d'insérer un petit montage dans le connecteur du réservoir pour linéariser l'affichage à juste 2,5 litres par barre (comme BMW aurait facilement pu le faire).

2. Création du linéariseur

Il s'agit de créer une électronique placée entre le capteur du réservoir et l'affichage (RID : rider information display). Dans le montage BMW, le courant dans le capteur, nécessaire à sa lecture est produit par le RID. Il faut en déterminer la nature : générateur de courant ou source Thévenin avec ddp et résistance ? Puis recréer une source d'alimentation du capteur et créer la tension avec le profil correct vers le RID. La tension de sortie sera une fonction « escalier », centrée sur le milieu de la valeur qui affiche la barre considérée.

2.1. Analyse de l'existant



Le RID de marque VDO est un afficheur Aussie (= australien, et non autrichien comme on aurait pu attendre de BMW, il eût alors été marqué Made in Austria, s'il était Ossie, il serait Allemand de l'Est). On voit en haut un fil s'échapper de la gaine : la gaine, pourtant à l'abri des UV se désagrège seule dans le temps. Encore un choix discutable en terme de longévité, de la part de BMW dans le choix de ses plastiques (capteur à effet Hall, verrou de selle, ...) !

a) Mesures complémentaires

Proportionalité :

tension alim 11,20V sortie essence 1,03V réserve 10,91V

tension alim 12,11V sortie essence 1,05V réserve 11,54V

delta alim 0,91V delta essence 0,02V delta % alim 8,1 % essence 1,9 %

il y a donc une régulation interne au RID et c'est une source Thévenin.

ddp source batterie 12,33V alim essence 8,00V réserve 11,85

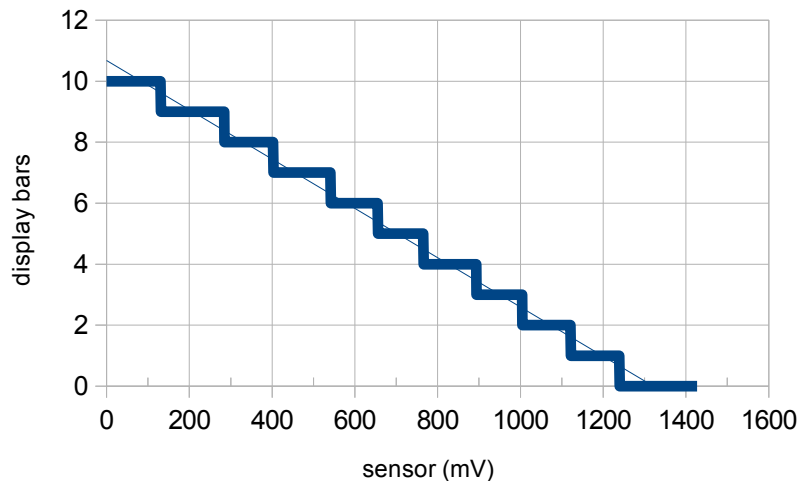
Impédance source : mesurée en insérant une résistance de 90 ohms 0,1 % en série : 2,31V amont, 0,86V aval

Donc résistance interne 353 ohms : il va falloir que l'impédance de sortie du linéariseur sorte la valeur correcte avec ce (fort) courant parasite, pas évident avec un amplificateur opérationnel classique, surtout avec une tension de sortie proche de zéro !

b) Marges sur les barres

Il s'agit de mesurer quelles sont les tensions min et max qui allument chacune des barres du RID

BMW R1100 Aussie RID



régression linéaire surajoutée

Ces mesures brutes font ressortir un fonctionnement linéaire du RID. C'est un fonctionnement proche de l'antique LM3914 bargraph generator (faudrait voir si des fois il n'y en aurait pas un dedans !). J'attribue les légères irrégularités à mon impatience, due à la très forte constante de temps (20s, ce qui conduirait à attendre à chaque fois 100s pour asymptoter correctement, mais encore à 0,6 % d'erreur), et au générateur de tension de mesure sur 8 bits, donc des pas discrets de sortie de 20 mV, la mesure a finalement été reprise par un potentiomètre de précision à fil non bobiné (variation continue sans d'incrément autre que les rattrapages de jeux mécaniques).

Le comportement du RID est bien une intégration type RC, puisque le changement de barre peut se produire après quelques secondes lors d'une variation importante proche de la transition, ou après plus d'une minute lors d'une petite variation proche de la tension de transition.

La sortie générée sera calée donc au milieu de chaque palier horizontal, laissant une certaine marge aux dérives sans affecter l'affichage.

2.2. Architecture du linéariseur

L'installation du linéariseur impose de couper la liaison existant entre le capteur et l'afficheur RID. Chacun de ces coté est mesuré pour que le linéariseur fournisse à chaque coté ce qu'il attend avec la précision nécessaire. Il faut couper le fil près du connecteur de réservoir (près de la vis de fixation du réservoir).

a) Coté sonde

Le coté du fil venant du RID constitue l'entrée de RID et alimentait la jauge par une source de « puissance » (par oppositions aux sources de tension ou de courant) de 8V/353 ohms. Le coté du fil allant à la jauge sera alimenté par le linéariseur par une source à courant constant de 18 mA, valeur choisie proche de la valeur min de 17mA.

b) Coté RID

Le linéariseur doit pouvoir imposer sa tension au RID qui le charge par sa source de 8V/353ohms, et sa tension doit pouvoir atteindre le zéro volt.

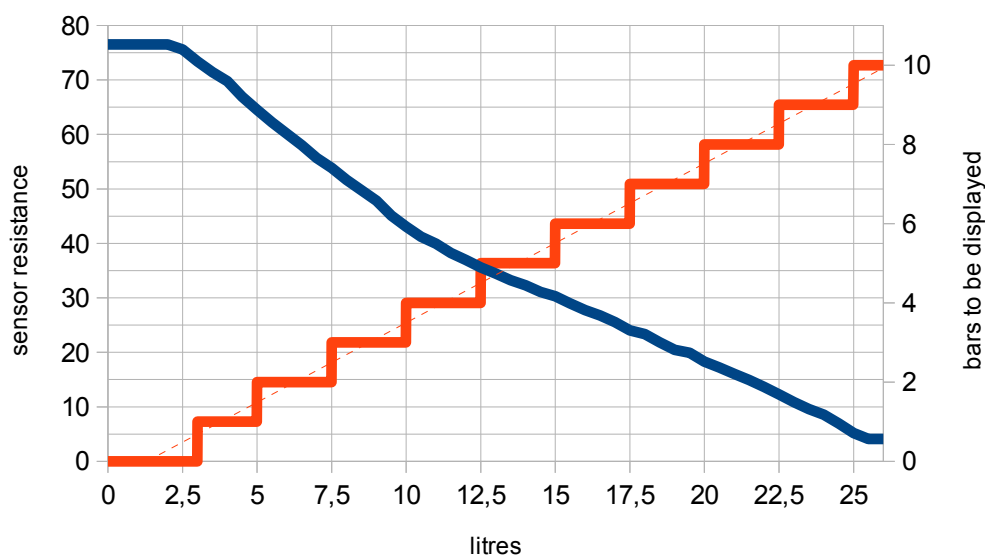
La tension de sortie du linéariseur est générée par un PWM (pulse width modulation = MLI modulation par largeur d'impulsion) en 8 bits disponible dans le tiny13. La tension de sortie sera donc référencée

au régulateur 5V : LM78L05 qui a une dérive de $0,65\text{mV}/^\circ\text{C}$, il faudra que cela convienne à toutes les températures de fonctionnement de la 1100RT, d'où l'intérêt de la sortie en fonction escalier, centrée au milieu des marches du RID. Là, j'accepte un diviseur par potentiomètre, car les deux résistances le constituant sont par essence de la même technologie et du même lot (le rapport de division sera toujours constant), le seul problème restant est la sensibilité aux vibrations d'un curseur de quelques dizaines de milligrammes : il faudrait quand même des vibrations de moto anglaise déréglée pour réellement affecter un potentiomètre multitours dont on colle la vis (la fusée Ariane y faisait même confiance avec un nombre de g d'un autre ordre de grandeur et ce type de potentiomètre n'a jamais été la cause d'un problème). Le potentiomètre sera réglé pour obtenir la tension de sortie de $1,303\text{V}$ lors d'un PWM à 100 % soit un rapport de $1/3,8$.

L'ampli opérationnel devra disposer d'un mode commun d'entrée couvrant la masse (l'ampli fonctionne même si les deux entrées sont à une tension proche de la masse) mais il n'existe pas d'ampli présidentiel (normal, quoi) dont la sortie puisse rester à zéro volts avec un tirage à 8V par une résistance de $353\ \text{ohms}$. Il faut donc utiliser un MOSFET et inverser le sens de l'amplification, ce qui conduit l'ampli à fonctionner dans une zone plus courante pour un ampli opérationnel de 2 à 4V de sortie, selon le MOSFET choisi. L'ampli sera un TS912. Un transistor bipolaire classique est incapable de saturer à moins de $20\ \text{mV}$ comme demandé par le RID, ce sera donc un MOSFET dont la résistance de saturation descend à une dizaine de milliohms. Pour descendre à zéro volt, il faut un MOS de puissance, le BS170 envisagé en première analyse ne suffit pas avec ses $2\ \text{ohms}$ de saturation, j'utilise donc un IRFZ34 capable de 30A , uniquement pour en tirer un courant de 22mA , il ne souffrira pas, celui-là ! De plus, sa capacité grille de 5nF amortira le signal. L'impédance de sortie est très faible, et permet un transfert sans altération vers le RID.

Le linéariseur devra transformer la valeur de la résistance de la jauge en échelons de tensions correspondant aux barres d'affichage. La mesure de la résistance donne l'image correcte du niveau d'essence (du flotteur en fait) avec ce type de capteur. Comme il ne faut ici que dix niveaux de sortie, une alimentation du capteur par résistance suffira bien : $5,04\text{V}$ (le régulateur du microcontrôleur) et une résistance de $500\ \text{ohms}$ seront utilisés. Une simple comparaison à une table donnera alors le nombre de barres à afficher.

BMW R1100 tank sensor



La précision demandée est relativement importante. En effet si la sortie est « grossière » (10 échelons uniquement) leu valeur doit être bien centrée sur le milieu de la valeur affichant chaque barre, et surtout le début d'affichage de la barre doit correspondre à la quantité d'essence affichée. La résolution est de $2,5$ litres par barre. L'affichage du premier niveau (1 barre) est décalé volontairement à 3 litres, car la valeur du capteur à $2,5$ litres est trop proche de la butée, il n'est pas très prudent de travailler trop près d'une limite et certaines motos qui veulent faire ce montage pourront ne pas le différencier

suffisamment.

L'erreur de mode commun sur le connecteur de jonction est de l'ordre du millivolt ($<5\text{mV}$) lorsque la pompe est en marche ou à l'arrêt (un seul câble assure le retour de courant de la pompe et la référence de masse de la mesure) et deux câbles séparent puissance et signal coté réservoir : bien construit.

S'il reste de la place en mémoire, j'envisage une sortie supplémentaire en mode série RS232 inverse-TTL qui donnera des résultats plus fins.

2.3. Choix de la référence

La référence de tension est le facteur essentiel de la qualité de la mesure. Son choix est donc important. La référence doit notamment assurer que l'affichage reste dans la précision voulue sur toute la gamme de température utilisée par la moto, soit -10°C à 40°C : dans un désert, je ne m'aventurerais pas de toutes façons sans réservoir de secours ; de même je ne roulerai guère à moins de -10°C d'autant que là ces composants ne cessent pas tout service, seule leur précision est affectée.

Microcontrôleur AT tiny13. La référence interne est de $1,1\text{V}$ mais varie de $1,0$ à $1,2\text{V}$ soit près de 10% . Aucune spécification de stabilité en température. Les résultats dériveront donc trop, même après étalonnage.

Le LM78L05, régulateur alimentant le microcontrôleur est donné pour une précision de 5% (mais cela ne veut pas dire que la tension de sortie varie sans raison de 5% , simplement que la tension de sortie se situe dans cette fourchette avec une stabilité dépendant essentiellement de la température), sur une large gamme de température (0 à 125°C) le coefficient de température est de $0,65\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ soit $0,6\%$ pour la variation de température considérée de -10 à $+40^{\circ}\text{C}$.

Le LM317, utilisable pour faire un générateur de courant, qui, relié au capteur, fournira la tension de mesure. Sa précision est de $0,63\%$ sur toute la gamme de température de -40° à $+125^{\circ}\text{C}$. La stabilité à long terme est de $0,3\%$. C'est une bonne référence et la résistance choisie de 70 ohms se trouve bien dans la fourchette recommandée de 12 à 240 ohms .

Le LM336-5 a une précision de 4% en version standard et la stabilité est de $20\text{ppm}/^{\circ}$ soit $0,5\%$ pour une amplitude de température de -10 à $+40^{\circ}\text{C}$.

Le choix sera donc l'alimentation par LM78L05 pour alimenter le microcontrôleur et lui servir de référence de tension. Un LM317 sera utilisé pour alimenter le capteur en courant.

Un seul élément ajustable devrait suffire : le diviseur de tension limitant le PWM à $1,4\text{V}$ max. Le PWM fonctionne à 5 kHz ($200\text{ }\mu\text{s}$), la constante de temps de l'intégration de sortie est de 2ms , l'ondulation résiduelle reste acceptable à 14mV crête/crête (filtre à $20\text{dB}/\text{décade}$), qui de plus, seront intégrés par le RID.

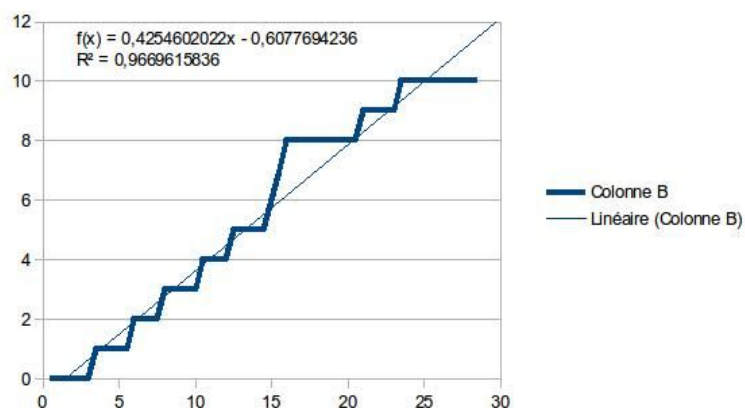
Pour ne pas auto-échauffer le capteur plus que par le montage BMW, le courant sera limité à 18mA et la tension maximale lue sera donc $1,38\text{V}$. La résistance de commande du courant du LM317L sera 70 ohms .

Le réglage du potentiomètre se fait en mettant le cavalier de test, et en tournant le potentiomètre (agir toujours dans le même sens : si le point est dépassé, revenir en arrière de plusieurs tours, à cause du jeu de la commande du potentiomètre) jusqu'à atteindre la tension de sortie de $1,356\text{ V}$, quel que soit le niveau de remplissage du réservoir.

Les valeurs de seuil et les codages correspondants seront :

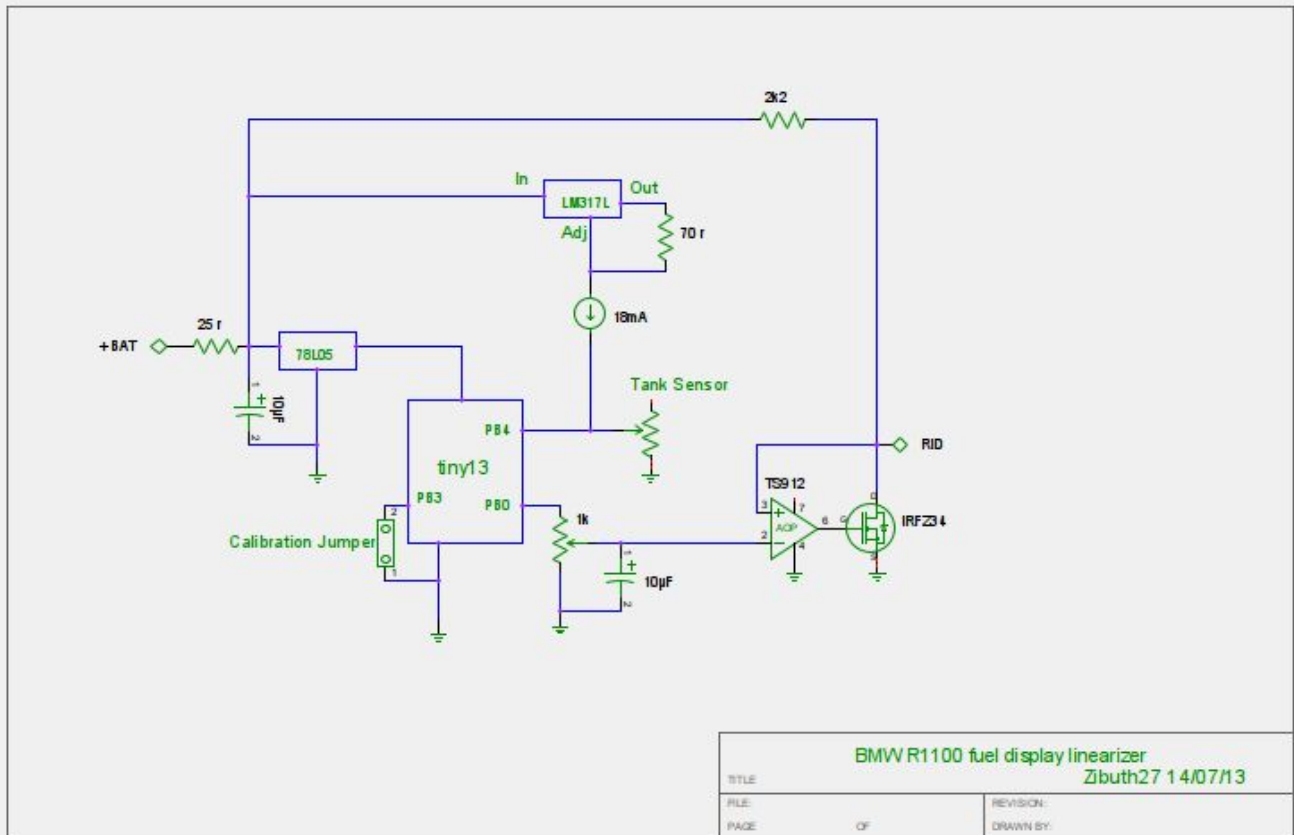
barres	Vin (mV)	Vout (mV)	ADC	PWM
10	0	65	0	1
10	93	65	22	1
9	94	207	23	12
9	220	207	46	12
8	221	343	45	39
8	327	343	66	39
7	328	472	67	64
7	429	472	88	64
6	430	598	89	88
6	541	598	111	88
5	542	710	112	133
5	636	710	130	133
4	637	829	131	155
4	770	829	157	155
3	771	949	158	178
3	962	949	197	178
2	963	1063	198	199
2	1152	1063	236	199
1	1153	1180	237	221
1	1310	1180	268	221
0	1311	1290	269	254
0	1500	1290	max	254

2.4. Premiers résultats



C'est pas si mal pour un début, allez, encore une petite correction à faire !

2.5. Schéma du linéariseur



3. Conclusions

Table des matières

1. Capteurs de niveau d'essence.....	1
1.1. Jauge d'essence (affichage à barres de l'essence).....	1
le réservoir, vu de l'avant.....	1
a) premier jeu de mesures (corps gauche vide).....	2
b) Second jeu de mesures (corps gauche plein).....	2
1.2. Jauge d'alarme (voyant réserve).....	3
1.3. Conclusions sur l'affichage d'origine.....	4
2. Création du linéariseur.....	4
2.1. Analyse de l'existant.....	5
a) Mesures complémentaires.....	5
b) Marges sur les barres.....	5
2.2. Architecture du linéariseur.....	6
a) Coté sonde.....	6
b) Coté RID.....	6
2.3. Choix de la référence.....	8
2.4. Schéma du linéariseur.....	10
3. Conclusions.....	10