

1 But

Suite à un dépannage (pour aider un copain d'IG Motos, cela paraissait alors un cas d'espèce et une opération rapide), puis à l'analyse de ce qui s'est avéré finalement une conception catastrophique de régulateurs pour motos anglaise vintage, j'ai fini par céder à la pression amicale de quelques-uns, de refaire un régulateur. Il s'agit de remplacer les régulateurs électromécaniques des motos anciennes, mais aussi de remplacer certains régulateurs électroniques modernes, soit qu'ils sont défectueux d'origine (Selectronic, voir <http://www.hackerschicken.eu/brit/ReguloFR.php>), soit qu'on souhaite rajouter des fonctions manquantes (correction de température, limitation de courant, etc). La réalisation doit pouvoir être entreprise par un particulier soigneux.

Eventuellement, il pourra s'agir d'options, les moins importantes pourront ne pas être montées.

Le cas des dynamos à trois balais n'est pas pris en considération ici. Elle nécessitent des études au cas par cas et il en subsiste de moins en moins. Une fois transformées en dynamo deux balais, elles peuvent être reliées à ce type de régulateur (si le champ rémanent de l'inducteur est faible), dans l'autre cas (si le champ rémanent de l'inducteur est fort) il faut rajouter une fonction d'écrêtage voir <http://www.hackerschicken.eu/terrot/Terrot5FR.php>.

La démarche suivie est :

1. étudier le besoin des batteries
2. étudier les circuits de charge
3. choisir la tension de fonctionnement
4. observer les régulateurs Lucas MCR2
5. observer un régulateur « indien »
6. regarder les spécification de quelques régulateurs électroniques « modernes »
7. concevoir un régulateur à tension constante
8. concevoir un régulateur à tension compensée en température
9. concevoir un régulateur à microcontrôleur

1.1 Fonctions à assurer

Choix d'architecture :

- version bobine d'excitation à point commun masse ou dynamo
- version positif ou négatif à la masse
- passage 6-12V

Fonctions, à peu près dans l'ordre d'importance :

- fiabilité
- tension
- limitation de courant
- prise en compte de la température
- diminution des pertes internes (d'où abaissement du régime de conjection et augmentation de la puissance délivrée)
- prise en compte de l'inductance de l'inducteur
- protections
- limitation de courant
- sortie voltmètre ou ampèremètre électronique

Je vais aussi étudier la possibilité d'utiliser un microcontrôleur.

1.1.1 Fiabilité

Il ne s'agit pas d'assurer une fiabilité de calculateur d'Airbus, mais de mettre en œuvre les moyens d'assurer longtemps un fonctionnement normal sans usure ou vieillissement. J'ai vu trop (un seul serait déjà de trop) de « restaurateurs » qui considèrent que, passé le coin de la rue ou un mois de

fonctionnement, ils ne sont plus responsables, surtout si l'utilisateur fait plus de 200km par an : hors garantie, circulez ou passez à la caisse !

Ce n'est pas parce que le prix des batteries a beaucoup baissé (en francs/euros constants) que ce n'est plus la peine de s'embêter à les protéger, hors considérations écologiques. La dynamo ne doit pas être soumise à des contraintes excessives.

Une espérance de vie de 1000 à 10000 heures (qui sera largement atteinte) me semble à même de survivre à toute moto vintage, donc on excluera enfin la régulation de toute panne ultérieure. La fiabilité est largement supérieure pour les composants et leur utilisation dans le schéma. La fiabilité finale dépendra uniquement de la qualité de l'assemblage, des brasures, des proximités douteuses (par exemple des espaces entre deux conducteurs, où peut se loger une particule conductrice) des isolations par gaines thermorétractables ou colle epoxy, du soin général de de l'installation sur la moto. Je ne suis responsable que de la qualité de la conception (l'avait-il bien conçu?!)

2 Choix de la tension

2.1 Détermination des conditions de charge de la batterie

Je cherche ici à déterminer des conditions correctes de charge de la batterie au plomb utilisée en moto.

De nombreuses informations circulent sur le web : des stupides, des fausses, et quelques vraies, mais c'est pas écrit dessus, faut chercher ! Les infos relatives aux tensions et courants se trouvent plutôt sous forme de courbes qu'il faut interpréter. Je propose quelques éléments qui me paraissent sérieux, après analyse et choix.

La batterie fonctionne majoritairement à tension de charge « constante ». En fait, en début de charge, l'ensemble générateur-régulateur limite le courant (fonctionnement à courant constant), soit par une fonction de limitation de courant du régulateur, soit par l'abaissement de la tension d'excitation.

Il faut tout d'abord connaître les besoins de la batterie.

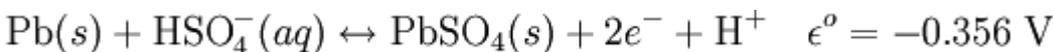
Les « grands » de la batterie (Bosch, Exide, Varta, etc) répondent par un magnifique dédain au particulier, ou par un foutage de gueule non moins grand (discours-type : « la batterie Extra Super est meilleure que la batterie Super Extra », sans jamais dire en quoi elle serait meilleure). Je n'ai trouvé qu'un seul grand de la batterie, Yuasa, qui fournisse des données utilisables.

2.2 Fonctionnement

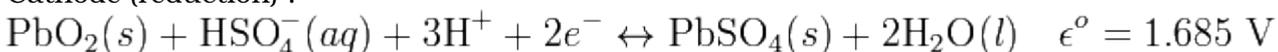
2.2.1 Electrochimie

Wikipedia (largement recopié sur le Web, y compris sa graphie, souvent sans citation d'origine) nous rappelle que les réactions électrochimiques aux électrodes sont les suivantes :

Anode (oxydation) :



Cathode (réduction) :



Cette réaction s'accompagne d'un échange d'énergie de 363kJ (86800 calories)

La tension est donc de 2,041V par élément soit 6,123V pour une batterie « 6V » et 12,246V pour une batterie « 12V » Wikipedia ne donne pas la température correspondante ni l'état de charge correspondant, supposé donc à 100 %. La température standard est souvent de 20° C ou de 25°C (avec la tolérance quand elle est indiquée, cela peut varier de ±5°C. Parfois certains sont tentés de prendre 27°C (qui correspondent comme par hasard à une valeur ronde : 300 kelvins ou degrés absolus). Une remarque en passant, le site français de Wikipedia est nettement moins riche que le site américain, est-ce le problème des sites de banlieue² ?

¹ Des contrepèteries on pu, bien involontairement bien sûr, se glisser dans le texte et échapper à la relecture

² Voir note 1, mais je ne le dirai plus

2.3 Types de batteries au plomb

- Selon leur usage on trouve les Batterie de démarrage (moto),
- batterie de traction (nacelles, fenwicks, scooters, vélos),
- batteries stationnaires (centraux téléphoniques, onduleurs).

Elles diffèrent surtout par la forme des plaques de plomb et la capacité à débiter des courants instantanés élevés (démarrage). Les batteries de démarrage et de traction sont utilisées en cyclage, les batteries stationnaires sont utilisées à courant d'entretien (juste suffisant pour éviter l'autodécharge) dit floating ou stand-by.

2.4 Technologie des batteries au plomb

Il s'agit de la technologie électrochimique utilisée dans la batterie.

2.4.1 Batterie conventionnelle

Elle est souvent vendue sèche (pour éviter l'autodécharge et les fuites), on met l'électrolyte à la mise en service. L'électrolyte est « mobile » dans son compartiment. Il se produit avec le temps une stratification dommageable (gradient de concentration d'électrolyte pour une même tension des plaques : selon la hauteur, une partie va sulfater, l'autre va se corroder).

2.4.2 Batterie étanche à recombinaison de gaz

VRLA (valve regulated lead-acid) Lors de l'«ébullition», les gaz (hydrogène et oxygène) produits par électrolyse, se recombinent et forment de l'eau. Si la pression interne devient trop forte, une valve libère les gaz.

- a) au gel (gel de silice)
- b) batterie étanche AGM (absorbent glass mat) remplie de fibres de verre (borosilicate)

2.4.3 Nature du plomb

Le plomb est souvent allié à une petite proportion d'autres métaux, calcium et/ou antimoine. L'effet sur la tension est minime : la tension par cellule passe de 2,15 à 2,17V, à conditions comparables bien sûr.

2.5 Fabricants de batterie

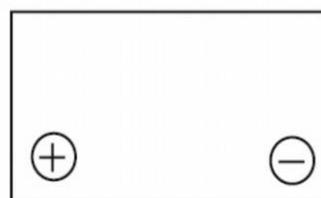
2.5.1 Yuasa

Gamme NP - Batteries plomb sans entretien

NP4-12

SPECIFICATIONS		
Tension nominale	12	V
Capacité en 20h (C20) à 1.75V/élé. (20°C)	4	Ah
Capacité en 10h (C10) à 1.75V/élé. (20°C)	3.7	Ah
DIMENSIONS		
Longueur	90 (±1)	mm
Largeur	70 (±1)	mm
Hauteur		mm
Hauteur bornes incluses	106 (±2)	mm
Poids (typique)	1.75	kg
TYPE DE BORNES		
Cosse à languette (type Faston, montage rapide, démontable)	4.7	mm
PLAGE DE TEMPERATURE DE FONCTIONNEMENT		
Stockage	-20°C a +60°C	
Charge	-15°C a +50°C	
Décharge	-20°C a +60°C	
STOCKAGE		
Perte de capacité par mois à 20°C (approximatif)	3	%
MATERIAU DU BAC		
Standard	ABS (UL 94HB)	
Option flamme retardante (FR)	ABS (UL94:V0)	
TENSION DE CHARGE		
Tension de charge en floating à 20°C	13.65 (±1%)	V
	2.275 (±1%)	V/élé
Coefficient de correction de tension de charge en floating en fonction de la température (à partir de 20°C)	-3	mV/élé/°C
Charge en cyclage (ou rapide) à 20°C	14.5 (±3%)	V
	2.42 (±3%)	V/élé
Coefficient de correction de tension de charge en cyclage en fonction de la température (à partir de 20°C)	-4	mV/élé/°C
COURANT DE CHARGE		
Limite de courant de charge en floating	Pas de limite	A
Limite de courant de charge en cyclage (ou charge rapide)	1	A
COURANT MAXIMUM DE DECHARGE		
1 seconde	120	A
1 minute	40	A
COURANT DE COURT-CIRCUIT ET RESISTANCE INTERNE (selon la norme EN CEI 60896-21)		
Résistance interne	N/A	mΩ
Courant de court-circuit	N/A	A
IMPEDANCE		
Mesurée à 1 kHz	40	mΩ
PERFORMANCES ET CARACTERISTIQUES		
Voir manuel technique	NP	
DUREE DE VIE		
Classification EUROBAT: Commercial Standard	3 à 5	ans
Durée de vie Yuasa à 20°C	5	ans
SECURITE		
Installation	Peut être installée et utilisée dans toutes les positions, sauf à l'envers en permanence.	
Poignées	Les batteries ne doivent pas être suspendues par les poignées si poignées.	
Soupapes	Chaque élément batterie est équipé de soupape pour permettre aux gaz de s'échapper et aussi assurer l'étanchéité.	
Dégazage	Les batteries VRLA produisent de l'hydrogène qui, mélangé avec de l'air peut devenir explosif. Ne pas installer les batteries dans une enceinte étanche.	
Recyclage	Les batteries VRLA YUASA en fin de vie, doivent être recyclées selon la législation nationale en vigueur.	

Fiche Technique



ISO 9001 – Système d'organisation qualité
 ISO 14001 - Système d'organisation environnementale
 EN 18001 - Système d'organisation hygiène et sécurité
 EN 18001 - Systèmes d'organisation hygiène et sécurité
 UNDERWRITERS LABORATORIES (UL)



NORMES
 IEC61056



TOUTES LES DONNEES PEUVENT ETRE MODIFIEES
 SANS INFORMATION PREALABLE
 Version N°: V2 / Date de version: Mars 2010



YUASA BATTERIES
 FRANCE
 Zac des Chesnes Ouest
 13 rue du Morellon
 38070 Saint-Quentin
 Fallavier

www.yuasaeurope.com

NP

Le coefficient de correction en température (donné ici comme linéaire, et seulement au-delà de 20°C alors que la batterie est utilisable à -20°C) est indiqué à -4mV par élément, soit -12mV/°C pour une batterie 6V et -24mV/°C pour une batterie 12V.

2.5.2 Powersonic

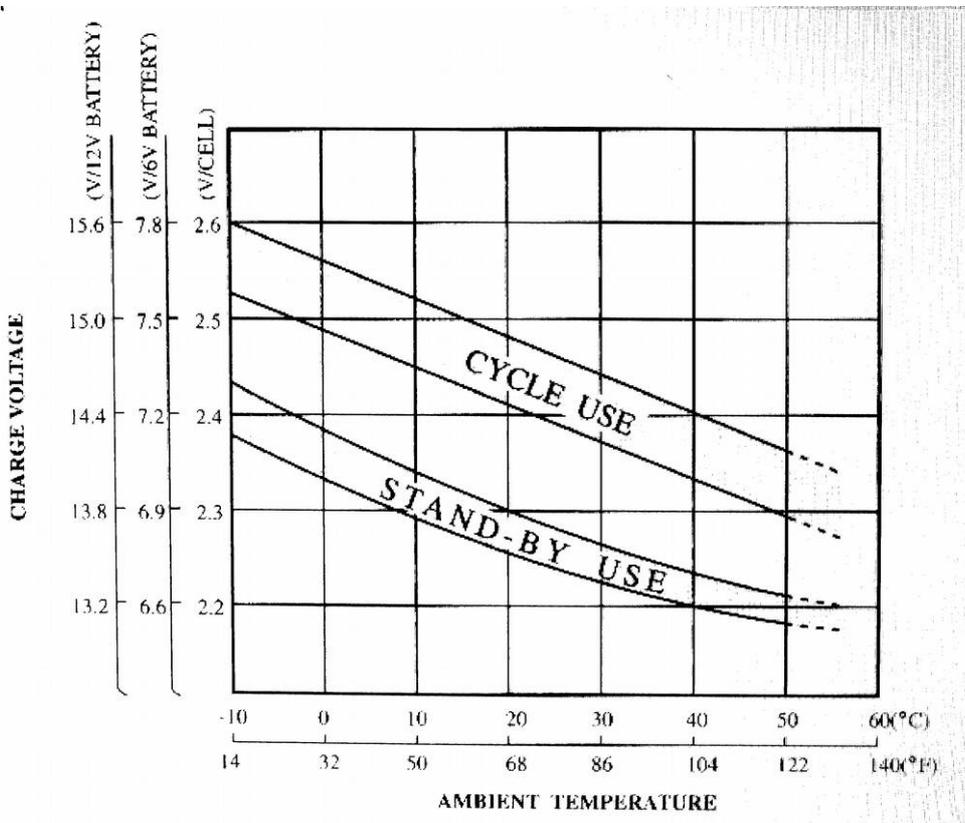
Powersonic, autre fabricant de batteries, publie l'influence de la température pour deux types d'usage cyclique (utilisation moto) et float (centraux téléphoniques)

AMBIENT TEMPERATURE	CHARGE VOLTAGE PER CELL	
	Cyclic use	Float Use
4 °F(-20 °C)	2.67-2.7V	2.34-2.39V
14 °F(-10 °C)	2.61-2.71V	2.32-2.37V
32 °F(0 °C)	2.55-2.65V	2.30-2.35V
50 °F(+10 °C)	2.49-2.59V	2.28-2.33V
68 °F(+20 °C)	2.43-2.53V	2.26-2.31V
77 °F(+25 °C)	2.40-2.50V	2.25-2.30V
86 °F(+30 °C)	2.37-2.47V	2.24-2.29V
104 °F(+40 °C)	2.31-2.41V	2.22-2.27V
122 °F(+50 °C)	2.25-2.35V	2.20-2.25V

Figure 23: Temperature Compensated Charge Voltage

2.5.3 IBT-power (Innovative Battery Technology)

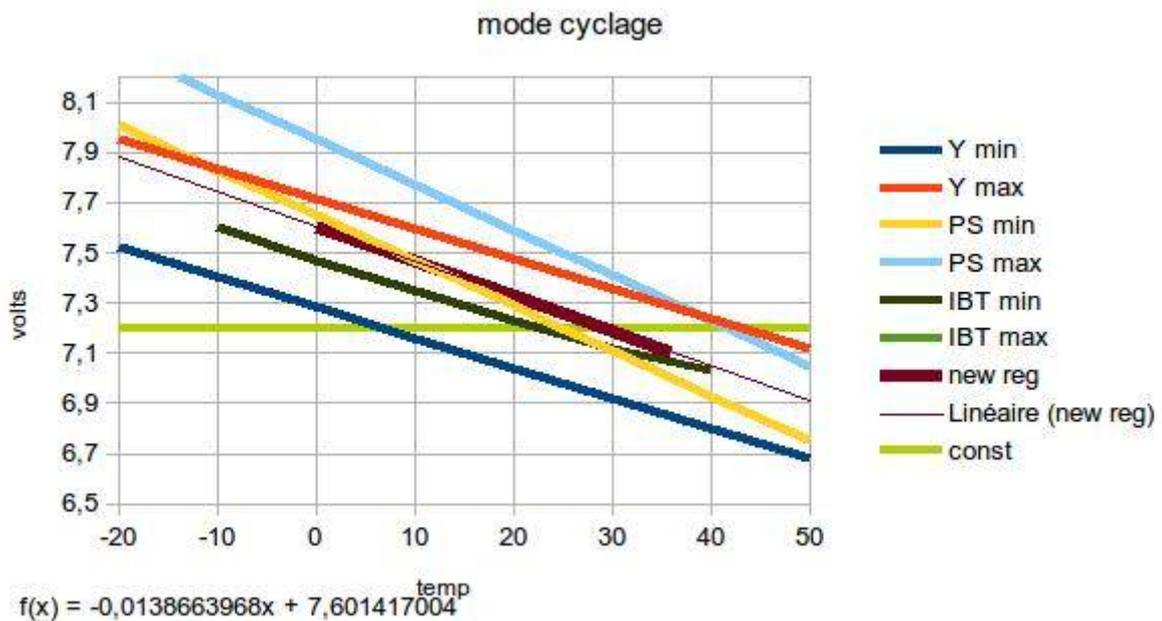
IBT Power, autre fabricant de batteries donne une courbe des tensions en fonction de la température.



L'utilisation stand-by correspond au mode floating. L'utilisation en cyclage est curieusement linéarisée

2.6 Valeurs fabricants

Voici la synthèse des courbes des fabricants précédents



2.7 Technologies de batteries

La tension de la batterie dépend aussi de sa technologie (légèrement) :

State of Charge	Sealed or Flooded Lead Acid	Gel battery	AGM battery
100%	12.70+	12.85+	12.80+
75%	12.40	12.65	12.60
50%	12.20	12.35	12.30
25%	12.00	12.00	12.00
0%	11.80	11.80	11.80

Sealed= batterie étanche (avec valve de surpression appelée parfois VRLA : plomb-acide à valve régulatrice de surpression)

flooded= batterie « classique » avec les plaques immergées

AGM= absorbent glass mat (à absorption de gaz par du « mat » de verre) : recombinaison H₂ et O₂ en eau

Lead-Acid= plomb-acide

Il s'agit ici de la force électromotrice (fem), mesurée à vide, chargeur déconnecté depuis plus d'une heure.

Ces infos sont sans doute données pour la température standard labo de 25°C.

2.8 Informations sur la charge

2.8.1 DOE-HDBK-1085-95

Document du ministère américain de l'énergie, source réputée sérieuse et données réputées vérifiées. C'est en tous cas la courbe la plus complète (et une des plus copiées).

OPERATION AND CONSTRUCTION DOE-HDBK-1084-95 Lead-Acid Storage Batteries

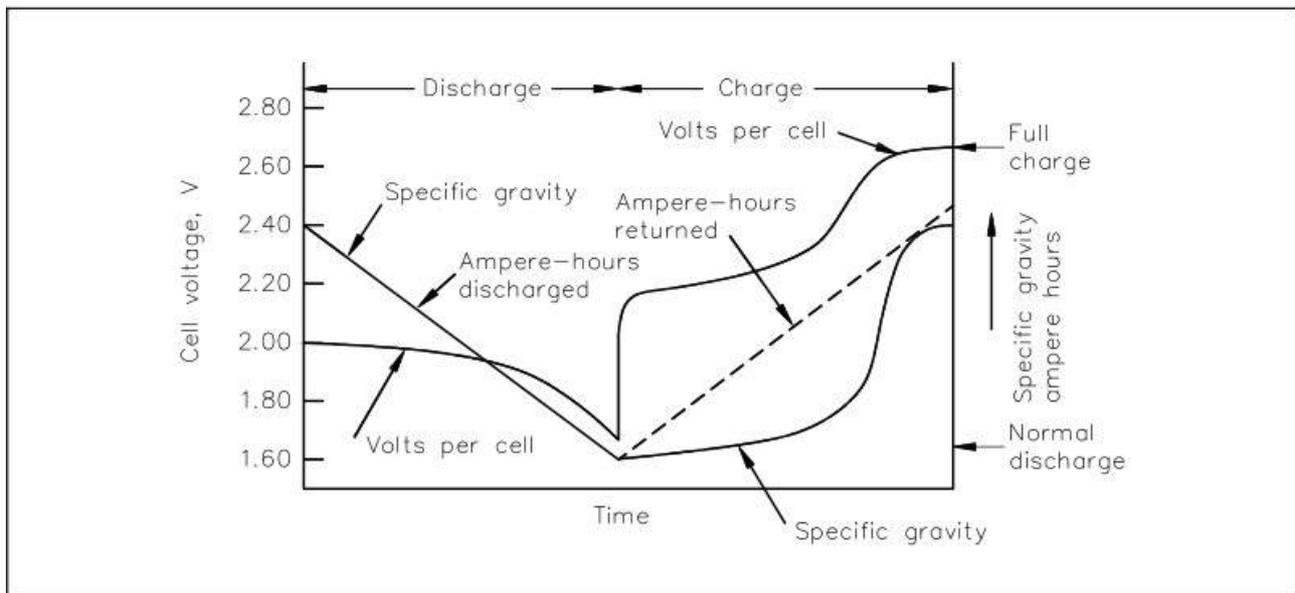


Figure 8. Changes in voltage and specific gravity during charge and discharge.

La tension est relevée par élément de batterie, elle est à multiplier par 3 pour une batterie « 6V » et par 6 pour une batterie « 12V ».

Première partie « discharge » (décharge)

- la tension démarre de 2V par élément (volts per cell) pour une batterie chargée
- la tension descend à 1,65V par élément pour une batterie déchargée
- la densité de l'électrolyte (specific gravity) décroît linéairement, comme l'état de charge
- l'état de charge (appelé par d'autres SOC= state of charge) décroît de 100 % à 0 % (échelle à droite « ampere hours »)

Seconde partie « charge »

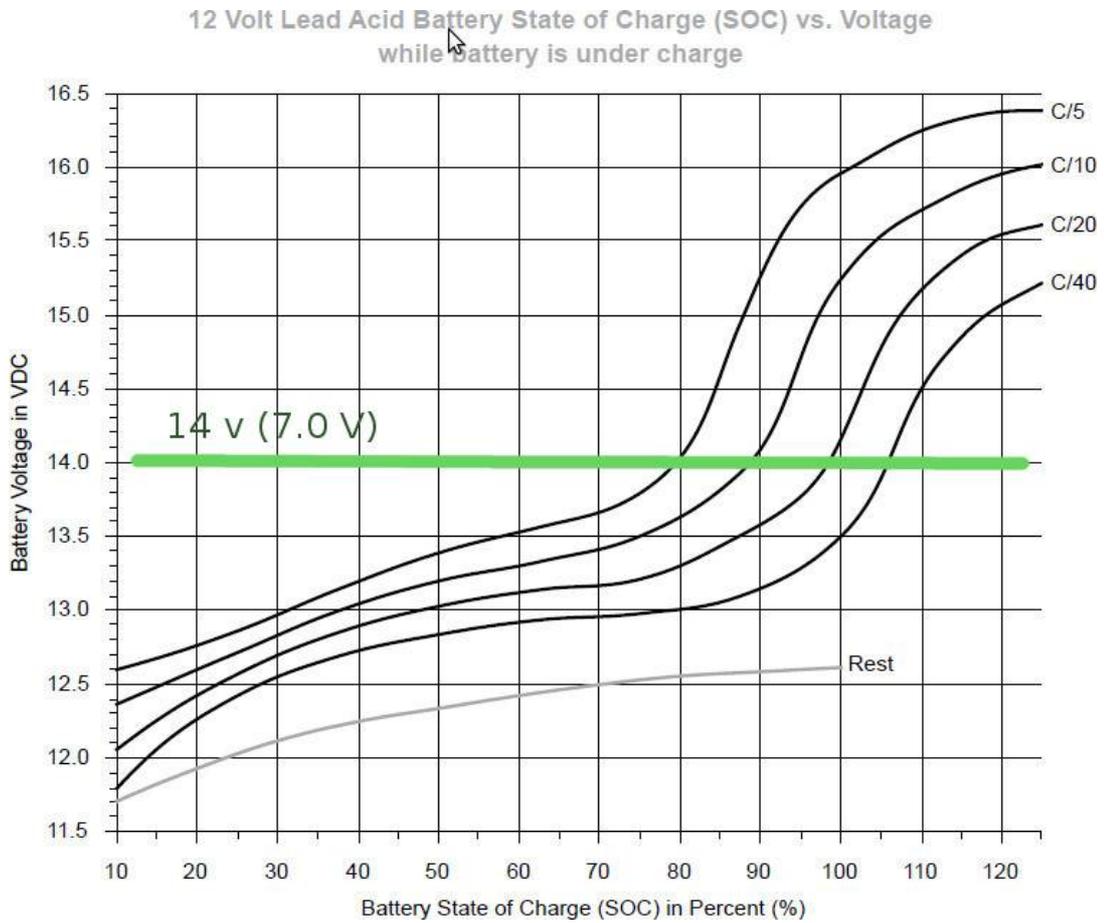
- la tension monte, par l'effet du chargeur, à 2,2V en début de charge
- la tension se stabilise à 2,65V en fin de charge
- la densité de l'électrolyte croît de manière non-linéaire en fonction de l'état de charge. Sa valeur finale dépend de l'utilisation de la batterie : 1,30 pour des véhicules électriques, 1,260 pour l'automobile, 1,25 pour les onduleurs, 1,215 pour les centraux téléphoniques)

Les valeurs sont arrondies et données pour une température standard labo de 25°C. Pour une bonne longévité de la batterie, la tension ne doit pas descendre en-dessous de 1,75V (environ 10 % de charge résiduelle) : ce qui implique qu'on ne doit pas décharger complètement la batterie.

La densité de l'électrolyte est linéaire en fonction de la décharge, ce qui permet l'utilisation de densimètres (à bille lorsqu'ils sont intégrés à la batterie)

2.8.2 Les ingénieurs-plongeurs

R. Perez a publié une courbe intéressante sur un site de plongeurs sous-marins !!
 (www.scubaengineer.com/documents/lead_acid_battery_charging_graphs.pdf)



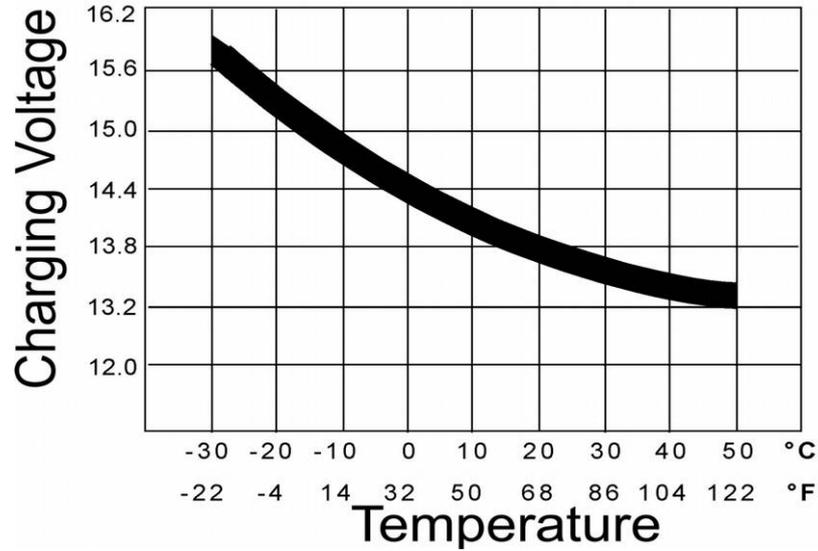
La température n'est pas précisée, elle devrait se situer au standard labo de 25°C.
 Rest= tension à vide de la batterie (après déconnexion du chargeur et repos >1h).
 Curieux, pour des ingénieurs et plongeurs, de ne pas prendre en compte la température !

2.9 Les circuits de charge

2.9.1 Xantrex

Le fabricant de chargeurs Xantrex publie une courbe de l'effet de la température sur la tension de la batterie (ici type gel, pas trop éloignée des batteries moto), en mode floating (charge d'entretien)

FIGURE 1: Typical voltage/temperature curve for gel cell batteries.



On constate que le coefficient de température dépend à son tour de la température, on voit clairement que la limitation du coefficient thermique à une température supérieure à 20°C comme le publie Yuasa, est insuffisante. Cette courbe donne les tensions pour un régime de floating (13,8V à 20°C) ce qui est normal pour un chargeur.

Cette courbe, comme les courbes IBT et PowerSonic mettent en lumière la tolérance de tension : $\pm 0,15V$, ce qui est assez serré et bien plus lâche que les tolérances Yasa ($\pm 0,04V$ pour une batterie 12V).

2.10 Régulateurs

2.10.1 BSA Service sheet 804

Décrit les conditions de charge des régulateurs MCR1 et MCR2

B.S.A. Service Sheet No. 804 (cont.)

Test Data

CUTOUT	MCR.1	MCR.2
Cut-in voltage	6.2—6.6 volts	6.3—6.7 volts
Drop-off voltage	3.5—5.3 volts	4.5—5.0 volts
Reverse current	0.7—2.5 amperes	3.0—5.0 amperes

Regulator

SETTING IN OPEN CIRCUIT

10°C.	50°F.	8.0—8.4 volts	7.7—8.1 volts
20°C.	68°F.	7.8—8.2 volts	7.6—8.0 volts
30°C.	86°F.	7.6—8.0 volts	7.5—7.9 volts
40°C.	104°F.	7.4—7.9 volts	7.4—7.8 volts

Regulator Adjustment

Remove the cover of the regulator unit, insert a piece of paper between the cut-out contacts, and proceed as follows:

Connect the positive terminal of the moving coil voltmeter (0—10 volts) to the D terminal on the regulator and connect the other lead of the voltmeter to an earthing point on the engine.

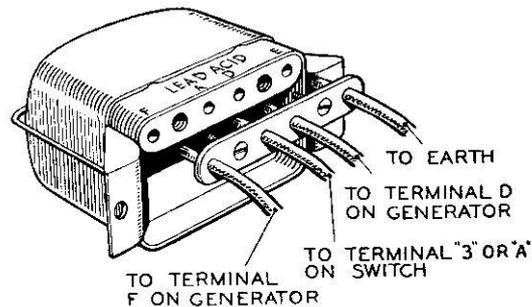


Fig. Y.16. Connections to regulator unit

Start the engine and slowly increase the speed until the voltmeter needle “flicks” and then steadies; this should occur at a voltmeter reading between the limits for the particular atmospheric temperature.

If the voltage at which the reading becomes steady is outside these limits, the regulator must be adjusted.

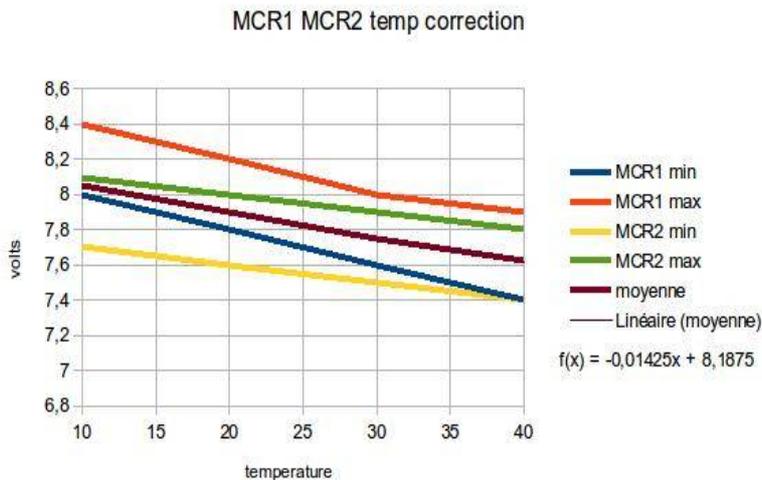
Shut off the engine, release the locknut “A” (Fig. Y.17) on the regulator adjusting screw “B” and turn the screw in a clockwise direction to raise the setting, or in an anti-clockwise direction to lower the setting. Turn the screw a fraction of a turn at a time and then tighten the locknut.

When adjusting, do not run the engine up to more than half-throttle, as while the dynamo is on open circuit, it will build up to a high voltage if run at a high speed and so a false voltmeter reading would be obtained.

Remove paper from between cut-out contacts.

Ces valeurs sont confirmées dans la doc de maintenance Haynes de la BSA C11 (RTA anglaise)

Air temperature		Acceptable voltage range
10°C	50°F	7.7 – 8.1
20°C	68°F	7.6 – 8.0
30°C	86°F	7.5 – 7.9
40°C	104°F	7.4 – 7.8



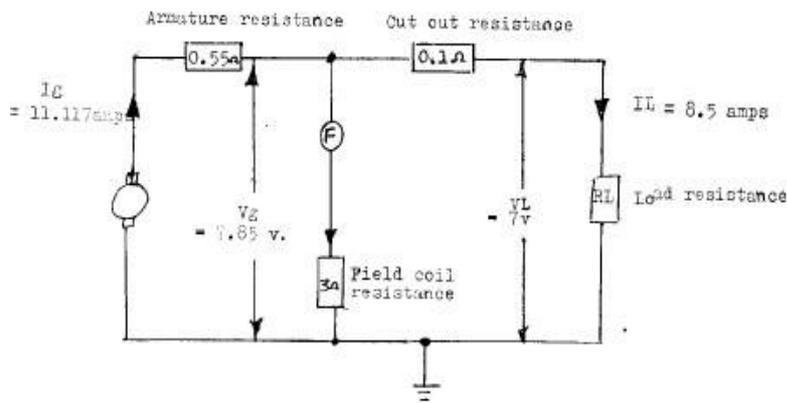
Lucas se permet donc des tolérances supérieures aux fabricants de batteries (Yuasa autorise $\pm 0,24V$ pour une batterie 6V).

Schéma équivalent et valeurs internes
Du régulateur MCR2

Papier J Gardner cité par J Hancock

La tension est à 7V batterie pour le courant max
Mais monte à 7,85V à vide, puisque la bobine de régulation se trouve en amont de la bobine de cut-out.

La contradiction apparente avec la figure précédente tient à la température non spécifiée et à l'effet de limitation de courant.



ATTENTION, ces valeurs sont mesurées à la sortie dynamo (en amont du régulateur, voir extrait « regulator adjustment ») et toutes charges électriques déconnectées (« insert a piece of paper », puis « remove paper » en fin des instructions de réglage Lucas), donc pour une machine à allumage batterie-bobine il faut alimenter la bobine par une batterie extérieure pendant la mesure. Ces tensions sont donc plus élevées que sur la machine en fonctionnement normal : 0,85V de différence pour une dynamo E3L et 0,57V pour une E3H ou E3N. Ces régulateurs Lucas surchargent la batterie lorsque le courant utilisateur diminue, effet partiellement compensé par la limitation de courant. On retrouve finalement le même type de comportement (en moins marqué, et avec limitation de la tension de sortie max) qu'avec les dynamos à trois balais.

2.11 Explications des choix

2.11.1 Auto/moto

La batterie moto se trouve balayée par l'air ambiant et sa température, hors ralenti à l'arrêt, est celle de l'air ambiant, contrairement à la batterie voiture qui se trouve dans un volume ventilé par l'air chaud du radiateur et chauffé, les choix sont donc fondamentalement différents en ce qui concerne la température. Le monde automobile domine (écrase) les études et la publication d'informations sur les batteries de véhicules. Or la batterie d'une voiture se trouve dans un volume plus ou moins ventilé et fermé qui comprend des sources de chaleur importantes (radiateur et moteur). **L'effet de la température de l'air extérieur sur la batterie ne suscite strictement aucun intérêt pour l'industrie**

automobile. Sur une moto, l'air extérieur souffle constamment sur la batterie qui ne peut qu'être à la température externe, l'échauffement interne éventuel est incapable d'y changer quelque chose.

Les autres gros utilisateurs sont les centraux téléphoniques (mais de moins en moins dans les pays développés, où les alimentations des postes domestiques sont déportés dans les « box » au domiciles des utilisateurs). Une nouvelle industrie pointe son nez avec les énergies vertes, du moins celles qui n'ont pas les moyens de s'offrir des batteries plus écolos mais beaucoup plus chères qu'au plomb : on doit bien se poser la question de la température de charge, mais on ne trouve pas de publications. Il existe pourtant une industrie qui utilise beaucoup de batteries au plomb et les étudie à fond : les sous-marins classiques, mais j'ai du mal à en trouver la moindre parcelle d'information, je dois mal m'y prendre ou ne paye pas assez le kgb. Il y a au final extrêmement peu d'informations utiles sur ce sujet.

Les batteries auto sont plutôt des batteries étanches à recombinaison de gaz, ce qui permet une légère ébullition des gaz qui seront recombinaison, une légère surpression existe alors dans la batterie. Cette légère électrolyse génère des bulles qui combattent la stratification de l'électrolyte. La stratification fait qu'on trouve un gradient de concentration en hauteur. Pour la même tension des électrodes, la concentration du bas de la batterie est celle d'une batterie surchargée, et la concentration du haut est celle d'une batterie sous-chargée. Le bas souffre de corrosion et le bas de l'anode tombe en poudre au fond, le haut se sulfate (dégradation partiellement récupérable, si elle est prise à temps). Lorsque les résidus de corrosion tombent au fond, ils finissent par diminuer fortement la résistance de fuite parallèle, ce qui fait que l'élément se décharge tout seul bien plus vite que les autres (on parle de « court-circuit » interne), la batterie se transforme rapidement en batterie 4V ou 10V, et lorsqu'on la charge, les éléments restants se trouvent surchargés, avec la corrosion résultante.

Même une moto vintage anglaise ne secoue pas suffisamment l'intérieur de la batterie pour éviter la stratification, il faut un mouvement dans le sens de la hauteur, comme par exemple, une légère ébullition (par surcharge) ou un retournement basse vitesse de la moto. La tension sera alors de valeur « cycling » (cyclage) plutôt que celle de floating. Une légère surcharge (105%) permet l'ébullition légère, recombinaison en eau.

2.11.2 État de charge et courant

Pendant la phase de charge à tension constante, la courbe des ingénieurs-plongeurs³ nous montre que, pour une même tension, on se trouve en fait à différents états de charge et courants. Pour une tension fixe de 14,0V ou 7,0V (à la température des plongeurs, non spécifiée ici), à un courant de charge de $c/5$ soit 2A pour une batterie de 10Ah, l'état de charge est de 80 %. Comme il y a un courant de charge, la batterie se charge ! Quand le courant atteint environ $c/20$ (0,5A pour notre batterie de 10Ah), la batterie est complètement chargée, quand le courant atteint $c/40$ (0,25A pour notre batterie) l'état de charge est de 105 %: ça y est, elle bout !

Lorsqu'on surcharge légèrement la batterie, on finit par charger aussi les éléments faibles, amenant un rééquilibrage entre les éléments, c'est pourquoi on peut aussi parler de phase d'égalisation : la tension des éléments chargés ne monte plus, la tension restante recharge alors l'élément faible.

2.11.3 Tolérances

les tolérances sont assez étroites, de l'ordre de 3 %, soit 0,2V pour une 6V et 0,4V pour une 12V. Dès qu'on en sort, on a sulfatation ou corrosion. En fait dès qu'on sort de la valeur précise de la tension demandée par l'électrochimie, les tolérances donnent juste un seuil acceptable de dégradation.

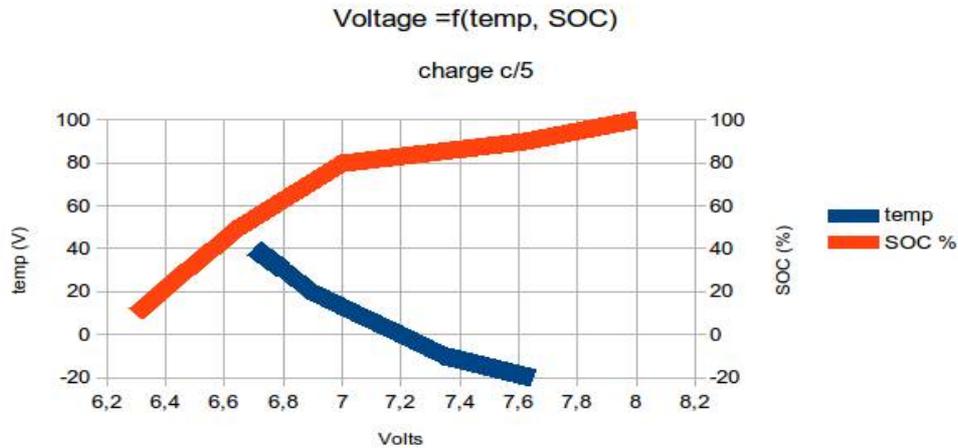
2.11.4 Effet de la température

Comme toute réaction (électro)chimique, la batterie est sensible à la température. Il s'agit d'une sensibilité non linéaire, voir les courbes Xantrex ou IBT float. Beaucoup de fabricants simplifient la courbe par une droite ou des segments de droite, en jouant sur les enveloppes données par la tolérance.

³ En fait c'est une courbe qu'on trouve chez de nombreux auteurs, mais cette source me plaît, allez savoir pourquoi !

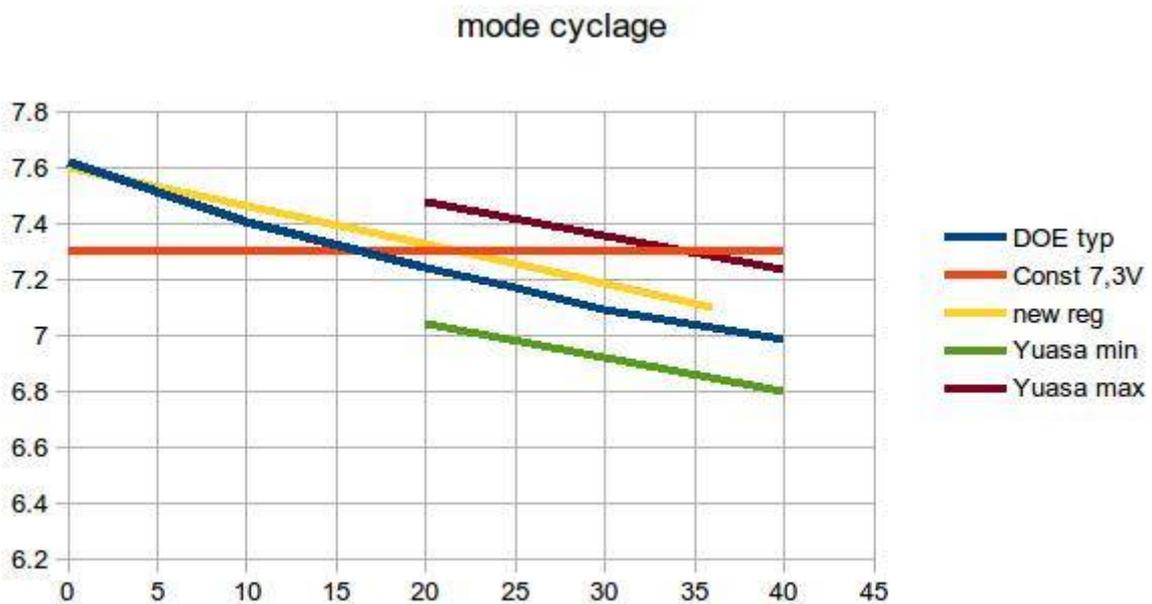
2.11.5 Effets cumulés

En comparant les effets principaux sur la tension : état de charge et coefficient de température, on obtient le diagramme suivant :



L'effet le plus important est bien l'état de charge mais la température est presque aussi importante. On constate que la courbe d'état de charge est bien établie pour 25°C et que le choix de la stratégie de cyclage correspond à un état de charge de 80 % environ quand le courant est fort (au début) puis de 105 % quand le courant faiblit (en fin du cycle de charge).

2.11.6 Choix de la tension de régulation, non compensée



New reg est le régulateur ZCT cité plus bas

2.11.6.1 A tension constante.

C'est le mode de fonctionnement de la plupart des régulateurs. Le bon fonctionnement n'est assuré qu'au milieu de la plage, les extrémités entraînent une sous-charge (avec la sulfatation qui l'accompagne) ou bien une surcharge (avec la corrosion qui l'accompagne)

Pour une moto, dont la batterie subit les variations de température de l'air ambiant, car les motos avec circuit en 6V ont rarement un carénage et un radiateur qui font monter la température de la batterie :

une valeur constante de 7,2V (le classique 14,4V des voitures) permet d'être « compatible » avec les valeurs

1. DOE de 10 à 40°C
2. Yuasa de 7 à 45°C, par extrapolation, car Yuasa ne publie pas ses coefficients en dessous de 20°C
3. Powersonic de 25 à 40°C
4. IBT de 20 à 40°C

• **une valeur constante de 7,3V** est « compatible » avec

1. DOE de 5 à 30°C
2. Yuasa de 0 à 40°C
3. Powersonic de 20 à 35°C
4. IBT de 15 à 35°C

• **une valeur constante de 7,4V** est « compatible » avec

1. DOE de 0 à 25°C
2. Yuasa de -13 à 25°C
3. Powersonic de 15 à 32°C
4. IBT de 5 à 25°C

Une bonne tension constante pour une moto se situerait donc à **7,3V**. En mode tension constante, il serait souhaitable d'ajuster pour un régime été et un régime hiver. C'est ce que j'ai fait avec le nouveau régulateur (régulateur « ZCV »)

2.11.7 A tension compensée en température

La compensation de température qui passe pour tous les constructeurs et qui permet la charge optimale (ni sous-charge ni surcharge) correspond à la courbe « new reg » de la figure de synthèse et dont l'équation est de : **$V = -0,013 \theta + 7,6$**

C'est ce que j'ai obtenu avec le nouveau régulateur compensé (régulateur « ZCT »), plus complexe que le précédent et dont je dois encore améliorer la partie assurant l'autoamorçage de la dynamo.

2.11.8 Choix final de la tension

Les valeurs que je retiens sont :

pour un régulateur à tension constante : 7,3V

en conseillant un ajustement saisonnier (pour utilisateurs qualifiés et outillés)

pour un régulateur compensé $V = -0,013 \theta + 7,6$

2.12 Roue libre et étouffement

Selon qu'on étouffe la surtension (diode d'étouffement ou de suppression -d'étincelle-) créée à l'ouverture du circuit soit par une résistance (cinquantaine d'ohms des régulateurs électromécaniques) ou par une diode (régulateurs électroniques), le temps de prolongation du contact ouvert varie considérablement.

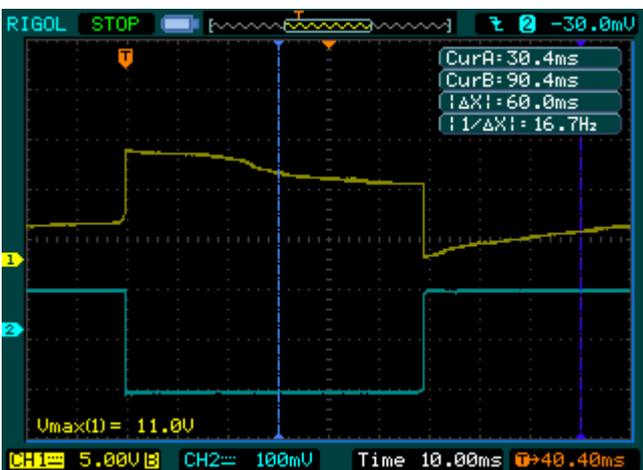
Avec la résistance de 55 ohms du régulateur Wassell Replica (ou du vrai MCR2), la dynamo E3H montre une constante de temps de 680µs. La valeur théorique L/R est de 90µs, la surtension mesurée est de 76V. Avec une seule diode, la récupération de la bobine d'excitation se fait en 150ms et la surtension est de 0,7V. Avec 4 diodes, on peut se rapprocher d'un fonctionnement à 50Hz sachant que la constante de temps d'une E3H est de 1,5ms.



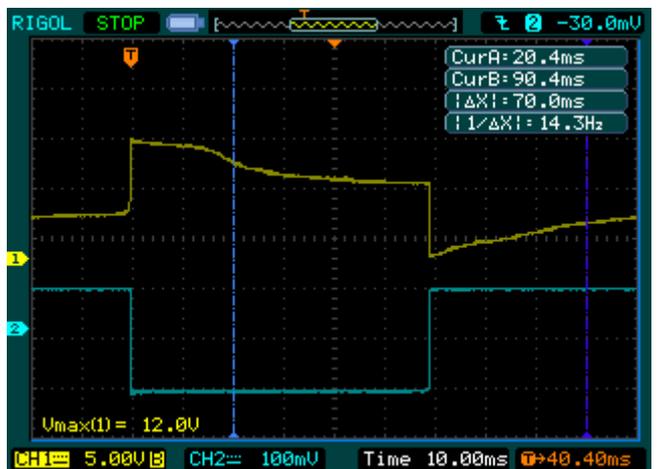
avec résistance 55 ohms. TC=680µs



avec une diode 1N4001. TC=150ms



avec 4 diodes 1N4001 TC passe à 60ms



avec 5 diodes 1N4001 TD passe à 20ms

Les valeurs relevées avec la Wassell ne sont, de toutes façons, pas cohérentes avec un fonctionnement annoncé à 50-100Hz. Il faut prendre en compte l'hystérésis du régulateur, la dynamo, les capacités parasites et les effets internes à la batterie dont les temps d'action existent dans une très large dynamique (voir figure A Fasil).

La diode de suppression ne devrait pas ralentir le cyclage, une seule diode ne suffit pas car elle impose un temps de récupération de la bobine de 150ms ce qui provoquera un cyclage à 6-7Hz, l'ondulation résiduelle sera trop forte. Il faut soit un circuit d'étouffement RC (snubber) soit une zener de 5-6V (ou son équivalent par 5-6 diodes en série) ou une diode d'absorption de surtensions (transil, transzorb, TVS). Une zener nécessite une diode en série pour ne pas conduire en sens direct ce qui court-circuiterait le courant fonctionnel de l'excitation

et en dériverait le courant nécessaire au fonctionnement normal. L'avantage de la suppression par diode est qu'elle ne nécessite pas d'adaptation de composants aux caractéristiques de la bobine d'excitation, comme le snubber RC. Une diode Transil P6KE33CA amène un temps d'étouffement de 800µs, voisin de la valeur d'origine Lucas-Wassell.

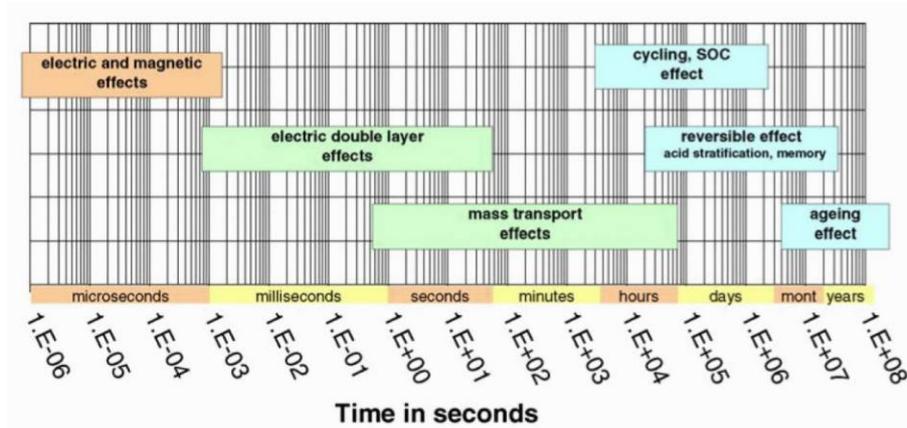


Figure 5: A listing of the major dynamic processes in batteries and their average time constants [21]

Thèse A Fasil

Cela montre aussi la difficulté à choisir le bon modèle de simulation de batterie. Pour l'instant, je constate. Un jour peut-être, je creuserai la question.

3 Sources d'énergie électrique

3.1 Dynamo

La dynamo est une machine électromagnétique qui demande de l'énergie mécanique en entrée et fournit une énergie électrique en sortie.

La tension de sortie est linéairement proportionnelle au champ inducteur, lequel est proportionnel (non-linéairement, notamment en raison de la saturation) au courant dans l'inducteur, qui dépend de la tension appliquée, de la température du cuivre, du temps (nous sommes en réalité dans un domaine oscillatoire et la montée du courant est exponentielle). La tension de sortie est proportionnelle au régime moteur, mais est diminuée par des effets parasites : résistance rotor (perte proportionnelle au courant et à la température du cuivre) saturation magnétique (liée non-linéairement au courant)

Une fois amorcée, la dynamo fonctionne en « amplificateur magnétique ». On entre une puissance (un courant multiplié par une tension) et on sort une puissance (courant x tension) plus élevée. Le « gain » est de l'ordre de 4 à 6. L'énergie est fournie par une action mécanique : assurer un nombre de tours suffisant et comme la force d'entraînement dépend de la puissance fournie par la dynamo, car c'est une puissance mécanique qu'on fournit à la dynamo. Lorsque le courant d'excitation est fourni par la dynamo elle-même, la tension de sortie est d'abord proportionnelle au régime, puis est limitée par le régulateur.

Les Watts consommés par l'inducteur ne sont jamais mentionnés, heureusement ! La puissance indiquée est toujours la puissance utilisable.

Les électrodes sont classiquement appelées D ou DYN pour la sortie de puissance de la dynamo (issue du rotor, « armature » chez Lucas), l'autre électrode est l'excitation (inducteur ou Field chez Lucas) EX ou IND ou F ou FIELD. La dernière électrode est toujours la masse métallique de la dynamo, reliée électriquement à la masse de la moto.

L'excitation est toujours assurée par un bobinage connecté en parallèle au rotor (enfin lors de la puissance max). Pour ne pas utiliser quatre fils, on a simplifié le câblage : un fil du rotor est relié à la masse métallique de la dynamo et un des deux fils du bobinage d'excitation est relié à l'intérieur de la dynamo, soit à la masse soit à la sortie dynamo. Lucas dans ses dynamos E3x a son point commun à la masse, donc plus on rapproche le potentiel de la borne F de celui de la borne D, plus on augmente le courant d'inducteur et plus on augmente la puissance délivrée.

Certains appellent excitation positive la dynamo dont le courant croît quand la tension de l'inducteur devient de plus en plus positif, mais la même dynamo dont on a simplement inversé le champ rémanent devient alors une dynamo à excitation négative. Le moins ambigu me semble donc de décrire la position du point commun.

Il n'y a pas de motos à dynamo à inducteur série ou compound (inducteur en série avec le rotor, ou mélange série/parallèle)

Le bobinage est divisé en une à quatre bobines partielles : on a une à quatre pièces polaires.

Le nouveau régulateur est prévu pour les dynamos à excitation parallèle (shunt), à point commun excitation-rotor à la masse, et positif à la masse.

3.2 Alternateur

L'alternateur moto récent ne nécessite pas la création de nouveau régulateur

- triphasé à la japonaise, il fonctionne bien sauf s'il n'y a qu'un seul thyristor, auquel cas je conseille de rajouter les deux manquants <http://www.hackerschicken.eu/suzuki/suzukFR.php>
- alternateur triphasé type auto (sur les gros cubes) régulateur incorporé, pas touche !

Les alternateurs Lucas sont plus problématiques, Lucas n'a pas voulu faire comme les autres (enfin pas pu, à son époque) et n'a pas adopté au départ l'alternateur triphasé, ce qui a conduit à des solutions techniques « exotiques ». Les premiers alternateurs pratiquaient une régulation à la main, par allumage des lampes, les suivants, un écrêtage par une diode Zener, puis par deux Zener, c'est alors une hérésie technique qui exige un appariement précis des diodes.

Il n'y a pas de régulateur moderne (à ma connaissance) pour les premiers alternateurs. On pourrait peut-être leur donner un coup de main. Une moto moderne comme la BMW R1100RT dispose d'un alternateur type automobile, à régulateur intégré. La tension de régulation est de 14V, et la batterie est à peine protégée du courant d'air mais n'est pas (ou si peu) réchauffée par le moteur. Cette tension est (marginale) correcte de 20 à 60°C et notoirement insuffisante en-dessous de 20°C. En cas de batterie au gel, la tension devient juste suffisante au-dessus de 30°C environ ! (sauf si, mais je ne l'ai pas constaté, le régulateur placé dans l'alternateur, donc dans le courant d'air, était compensé en température, j'ai des doutes, mais je mesurerai sur ma machine)

4 Les indicateurs

4.1.1 Ampèremètre

4.1.2 Voltmètre

4.2 Voyant de charge

Le voyant de charge est une simple lampe montée entre la sortie dynamo et la batterie. Elle indique donc normalement que la tension dynamo n'a pas encore atteint la tension de batterie. Comme il s'agit d'une lampe à incandescence, elle ne brille plus quand la tension se rapproche de la tension batterie, on ne détecte donc pas le moment exact du début de la charge.

Puisque la lampe est un organe non polarisé, elle peut s'allumer aussi (faiblement) lorsque le régulateur coupe la liaison dynamo-batterie lors d'une surcharge de courant. Le régulateur électromécanique, analyse de l'existant

Le modèle classique qu'il faut au moins émuler est le Lucas MCR2 pour dynamo 6V positif à la masse (positive earthed). Les autres marques fonctionnent identiquement à la polarité ou au courants/tensions près.

4.3 Les régulateurs Lucas MCR2



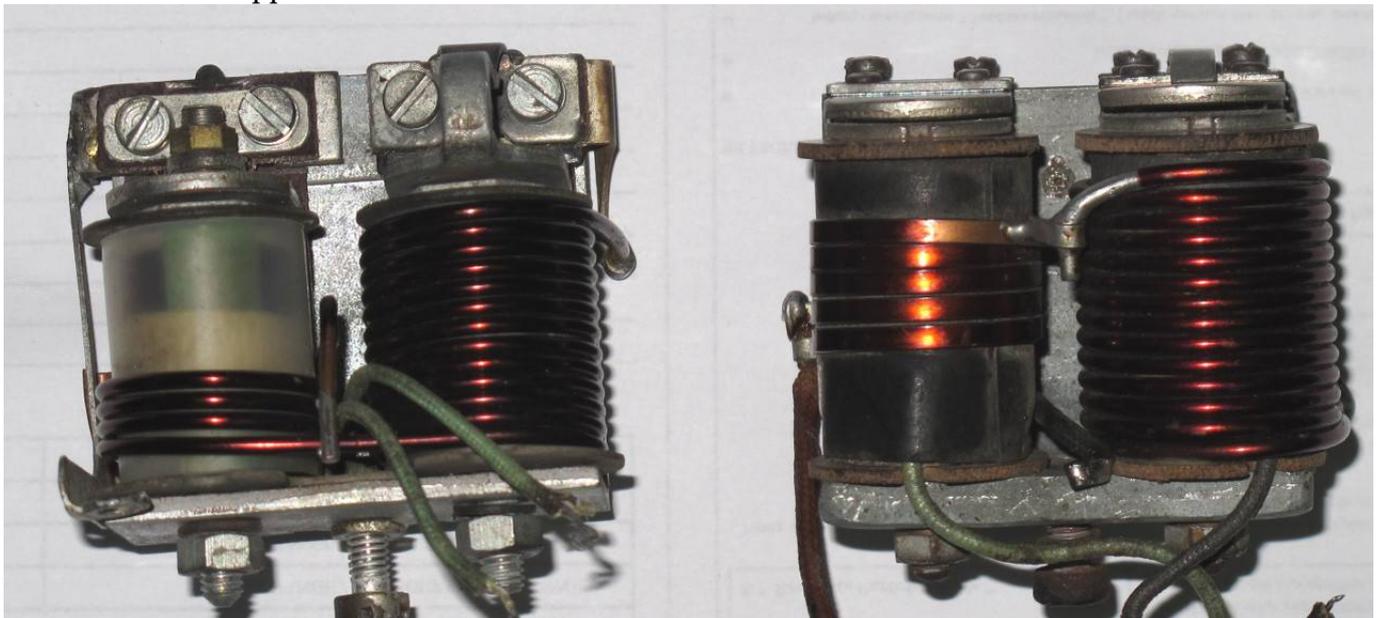
C'est un régulateur à deux bobines, l'une sert à régler la tension (voltage) à gauche de la photo, l'autre à la conjonction (Cut-Out ou conjoncteur-disjoncteur), à droite de la photo.

Pour faciliter la compréhension on parlera pour la bobine de régulation de bobine série régulateur et shunt régulateur, pour la bobine de conjoncteur-disjoncteur de bobine série conjoncteur et de bobine shunt conjoncteur.

Autour de chaque noyau deux bobines identiques sont placées, générant un champ en fonction de la tension dynamo : bobines shunt régulateur et bobine shunt conjoncteur.

4.4 Photo des MCR2

Démontés de leur support



Ces régulateurs Lucas ont un mode de réglage par translation des vis et blocage par écrous ce qui fait que les contacts restent bien parallèles dans la plage normale de réglage. C'est un plus pour la longévité des contacts, et cela fait contraste avec les régulateurs qu'on règle en tordant les pièces (voitures populaires françaises des fifties sixties). Les deux bobines shunt sont placées sur le même châssis-support, les palettes sont séparées pour la bobine de régulation et pour la bobine de conjonction.

Compte tenu du grand nombre de rotations prévues (la palette de régulateur oscille de 50 à 100Hz, soit un million de battements en une heure et demie) les axes ne sont pas faits par des pivots mais par des axes virtuels à lames comme dans les horloges comtoises : l'angle de débattement de la palette est faible et l'angle, par unité de longueur de lame, est très faible et reste bien loin, dans la zone de déformation élastique.

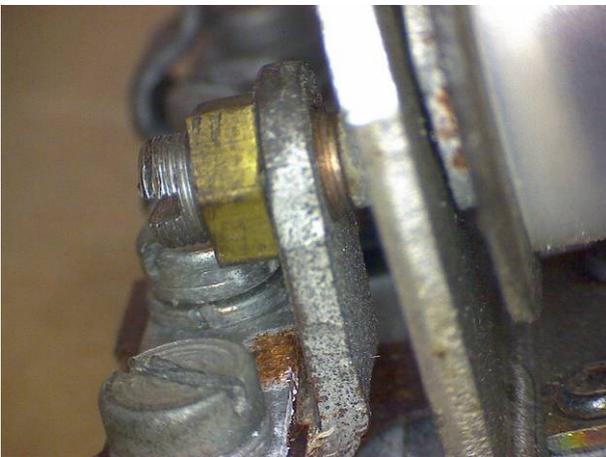
4.4.1 Détails MCR2 pré-53



Lame-axe virtuel de la palette de régulation, on devine la seconde moitié de la lame



lames-axe virtuel de la bobine de joncteur



Contact de régulation



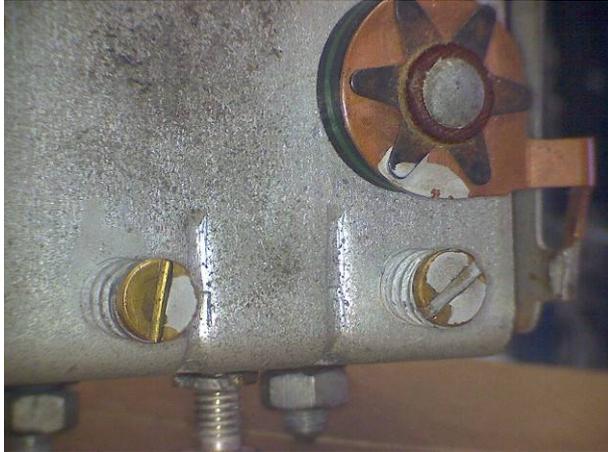
contact de jonction



Lame-ressort et bilame, réglage de régulation

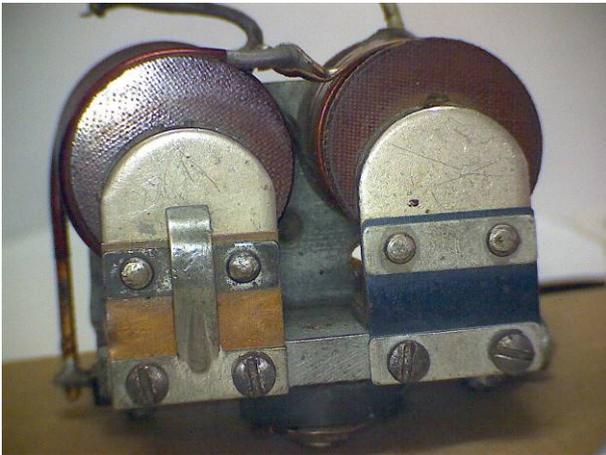


bilame et réglage de conjonction



Résistance (pastille noire avec filet de peinture verte) montée par serrage élastique.
Les vis de réglage sont freinées par ressort.

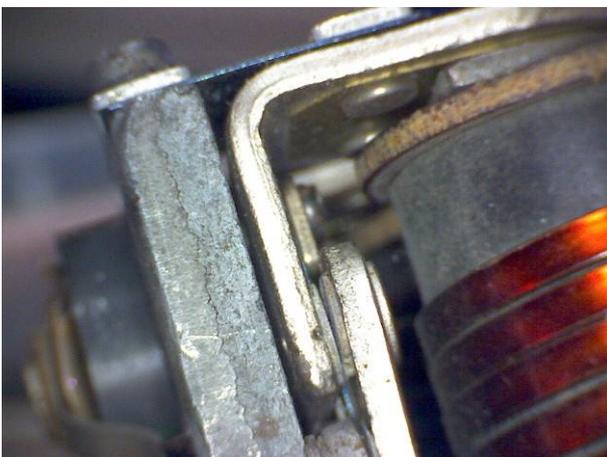
4.4.2 Détails MCR2 post-53



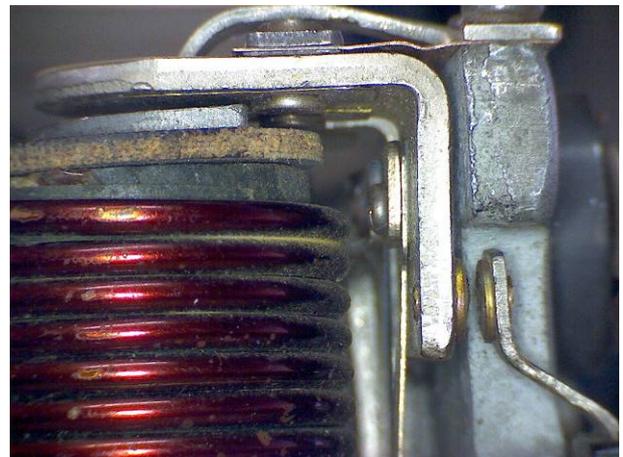
Lames-axes virtuels. La lame du joncteur est en alliage jaune, bronze au béryllium ? (qui a permis une déformation sur sa gauche). La lame du régulateur est en acier.



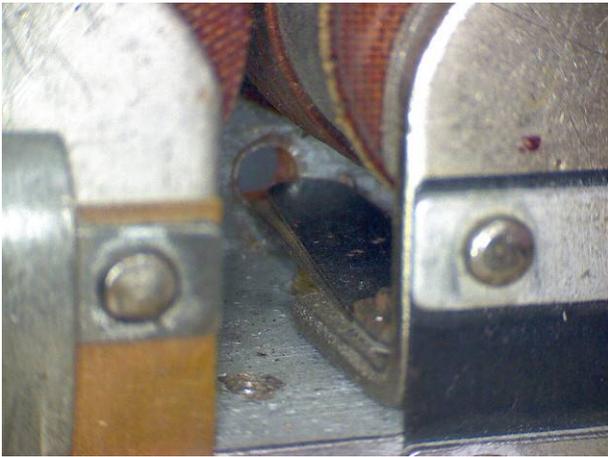
Les vis de réglage et contre-écrous de tension des ressorts. La résistance pastille montre sa surface dorée de contact, dans les trous du ressort d'appui.



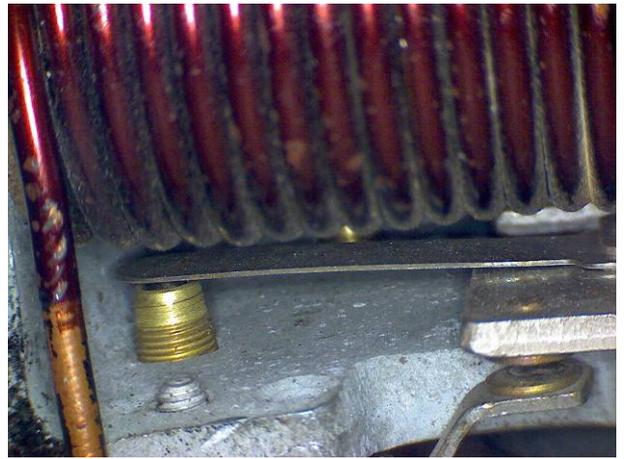
Contacts du régulateur. Le fil cuivre de limitation de courant est de section rectangulaire. Contacts du



conjoncteur. On voit la déformation (manipulations ?) de l'axe virtuel



Bilame-ressort du régulateur.



Bilame-ressort de joncteur avec sa vis de réglage.

4.5 Régulation de tension

Quand la tension est inférieure à la tension de consigne, le champ magnétique de la bobine shunt régulateur est insuffisant pour attirer la palette : le régulateur assure le contact D-F (contact type repos, n.c. Chez Lucas) donc assure le passage de courant dans l'inducteur, ce qui crée du courant dans le rotor. Dès que le champ est suffisant (la tension atteinte), le contact s'ouvre, le courant d'inducteur s'arrête, la tension de sortie retombe. Le fonctionnement normal est une oscillation de 50 à 100 Hz environ et qui correspond à la montée exponentielle du courant d'inducteur jusqu'à obtenir la tension de sortie souhaitée. Le ressort de rappel est modulé par un bilame pour la compensation en température. Une bobine de 4-5 spires de gros fil entoure la bobine shunt régulateur pour la limitation de courant.

4.6 Conjonction (Cut-Out)

Une bobine sensible à la tension est montée entre borne dynamo et masse (bobine shunt joncteur), la même bobine en fait que la bobine tension sur le régulateur. Le courant du rotor n'est donc débité vers la charge (batterie et lampes) que lorsqu'une tension suffisante est mesurée, avec modulation en fonction de la température et de la valeur du courant (bilame et gros fil). Ce contact est affublé d'une hystérésis⁴ important par nature puisque au repos, la palette magnétique est éloignée du noyau et exige un courant relativement plus important ; une fois la palette attirée, elle touche le noyau et le courant devra être beaucoup plus faible pour maintenir la palette. Ce courant plus faible correspond à une tension très basse et plus faible que la batterie, la batterie se décharge alors dans le rotor, ce qui le ferait griller assez facilement. Il y a donc une bobine (bobine série joncteur) d'une douzaine de spires de gros fil autour de la bobine shunt, en série avec la bobine série régulateur, parcourue par le même courant : le courant de sortie dynamo. Son rôle est de fournir un champ contraire au champ de la bobine shunt : on annule ainsi (voire on inverse) le champ, et le circuit est coupé dès détection du passage de courant dans le sens batterie-rotor, il faut revenir à une tension suffisante pour laisser passer le courant dynamo. Le ressort de rappel est aussi modulé par un bilame pour la compensation en température.

⁴ Hystérésis : nom féminin, décrit le changement d'état d'un système quand sa sortie dépend de son entrée, mais aussi de la « mémorisation » de son état antérieur. Son changement d'état ne se passe pas au même niveau en « montant » qu'en « descendant »

4.7 Compensation en température

Lucas a mis des ressorts de rappel avec bilames sur les deux bobines, ce qui introduit une compensation en température pour se rapprocher de la variation naturelle (et importante) en température des batteries au plomb-acide.

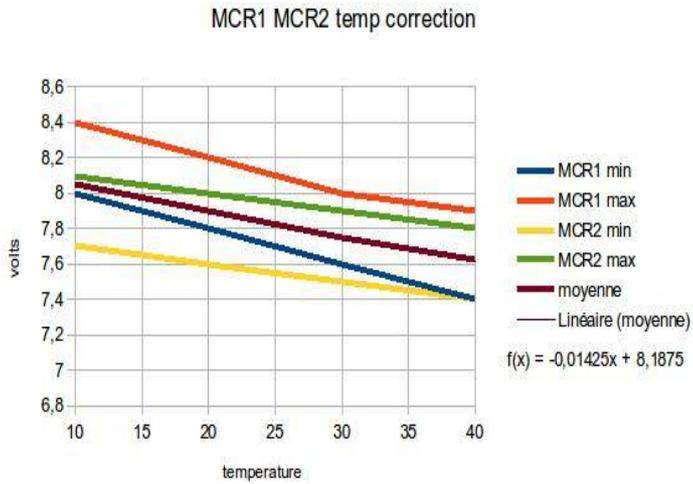
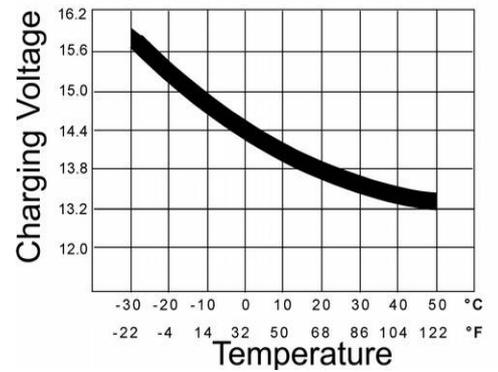
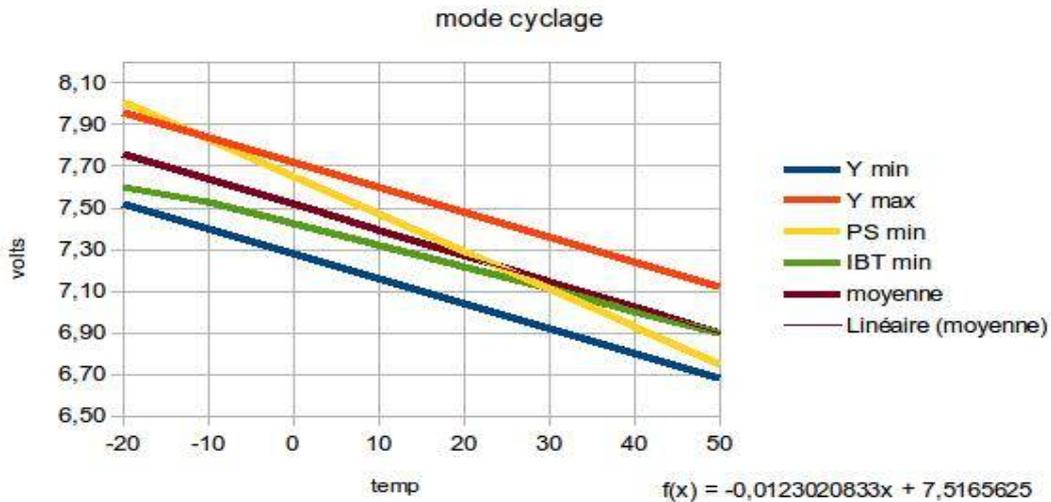


FIGURE 1: Typical voltage/temperature curve for gel cell batteries.



courbe de température Lucas, à mesurer en sortie dynamo. La pente de la fonction est classique (-0,01425) mais la tension de décalage est forte, due à une tentative de compensation de la résistance série

courbe de température de chargeur float batterie 12V gel



Y = batterie Yuasa (ramené en 6V) IBT = batterie Innovative Battery Technology PS = batterie Power Sonic

Une particularité de Lucas est que la mesure est faite sur la borne D, toutes lampes et batteries déconnectées, la tension est donc plus forte que la tension batterie, peut-être parce que la tension dans cette mesure « à la Lucas » est un peu plus stable, car non affectée par les vibrations du régulateur et leur effet sur le courant dynamo. Lucas ne publie pas la correspondance courant-tension. On peut supposer un comportement purement ohmique, donc pour une dynamo E3L, la tension batterie serait plus basse de 0,85 V à plein courant, pour une E3H ou N, la tension baisserait jusqu'à 0,58 V à plein courant. **La tolérance Lucas est d'environ ±0,4V, nettement plus que ce qu'autorisent les fabricants de batteries.**

4.7.1 Effets du cuivre

Un autre phénomène est sensible à la température, c'est l'augmentation de la résistance du cuivre, de 0,4 % par degré. Les bobines ont de plus un échauffement naturel lors du passage du courant. Cet échauffement diminue le courant dans la bobine et donc le champ magnétique lorsque la température augmente, il faut donc augmenter la tension pour ré-obtenir le même champ magnétique. Cela correspond à un coefficient de température positif, contraire à celui demandé par les batteries, à compenser d'autant plus par les bilames. C'est pourquoi Lucas demande un temps de stabilisation avant mesure.

4.8 Limitation de courant

La bobine du régulateur de tension est entourée de 4 ou 5 spires de gros fil (le même que pour la bobine de cut-out, mais enroulées dans le sens opposé et les bobines de tension sont certainement les mêmes), il y a (service sheet 804) diminution de la tension de régulation en fonction du courant débité. On peut penser que l'augmentation de courant diminue la tension de cut-out (non précisé dans les docs)

4.9 Conjonction

La tension de conjonction établie par la bobine de cut-out est de 6,3 à 6,7V La tension de relâchement (hystérésis) est de 4,5 à 5V ce qui autorise un courant inverse (de la batterie vers la dynamo) de 3 à 5A (Lucas Workshop L3A) ce qui autorise une certaine décharge de la batterie au ralenti avant que le cut-out ne déclenche ! Mais il est sûr que dans ces conditions, il n'y a pas de chances d'oscillation de la bobine de cut-out.

La conjonction simplifiée (par diode Schottky) évite au moins la décharge.

4.10 Différences MCR1/MCR2

Les régulateurs MCR1 et MCR2 sont fonctionnellement identiques, mais différents par le courant prévu. Le MCR1 est prévu pour la dynamo E3N ou E3H (6V, 40W, 5,8A)

le MCR2 est prévu pour la dynamo E3L (6V, 60W, 8,6A). Il y a deux variantes avant ou après 1953 que j'appellerai MCR2-A et MCR2-B (ou pré-53 et post-53).

Les gros fils sont différents dans les MCR2-A gauge 12 : diamètre 2,05 mm, section 3,31mm², MCR2-B gauge 13 diamètre 1,83 mm section 2,62 mm².

Les deux bobines de tension sont identiques dans chaque régulateur :

- MCR2-A 28Ω fil de gauge 33 (0,18mm 0,0245mm² 680 Ω/km), donc 41m de fil ce qui fait – avec une spire moyenne de 80mm – un nombre de 500 spires environ - ce qui fait un champ de 124 A.tours et une puissance dissipée de 1,8W.
- MCR2-B 55 Ω fil de gauge 33 (0,18mm 0,0245mm² 680 Ω/km), donc 80m de fil – un nombre de 1000 spires environ - ce qui fait un champ de 127A.tour et une puissance dissipée de 0,9W.

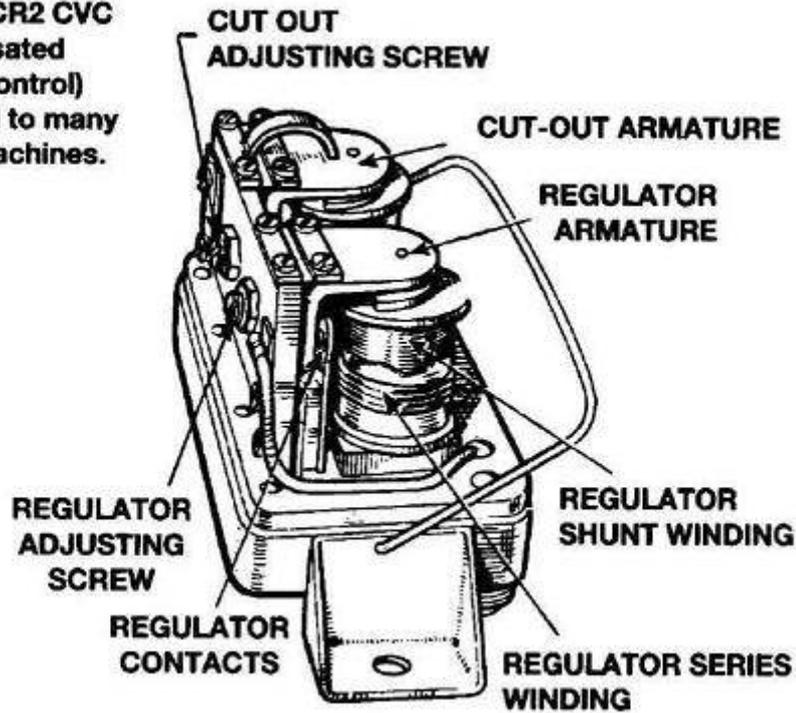
Les bobines de courant font :

- MCR2-A 4 spires de fil de gauge 13 : 1,83mm pour un courant de 5,8A, le champ du régulateur de courant fait 23 A.tour, le champ des 13 spires du cut-out fait 75 A.tour.
- MCR2-B 5 spires de fil de gauge 12 : 2,05mm pour un courant de 8,6A, le champ du régulateur de courant fait 43 A.tour le champ des 13 spires du cut-out fait 111 A.tour.

Lucas a aussi décidé de donner des tensions de sortie différentes à ces deux régulateurs, mais mesurées sans courant de sortie, et sans publier l'effet du courant sur la tension.

Les MCR1 et MCR2 ne sont pas réellement interchangeables, même, si en approche grossière, cela fonctionne : la limitation de courant peut amener la destruction d'une E3N ou E3H montée avec un régulateur MCR2 puisque le courant est limité à 8,5A, par contre, une E3L avec un MCR1, ne tirera simplement pas toute la puissance possible de la dynamo puisque le courant est limité à 5,6A.

Lucas MCR2 CVC
(compensated
voltage control)
unit fitted to many
British machines.



Le régulateur MCR2 possède ses contacts sur le coté, entre la bobine et l'armature. Le MCR1 a sa résistance dans le volume situé sous le régulateur.

4.11 Schéma MCRx

Les deux bobines « shunt » sont montées sur le même circuit magnétique (chassis) combinant leurs champs.

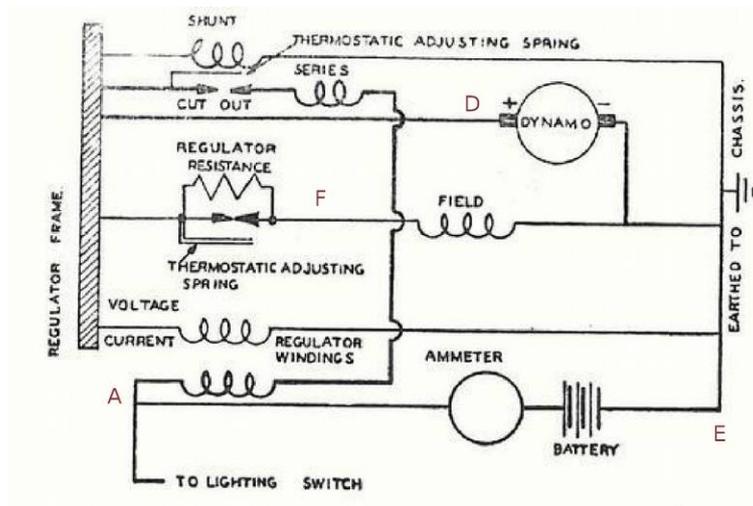
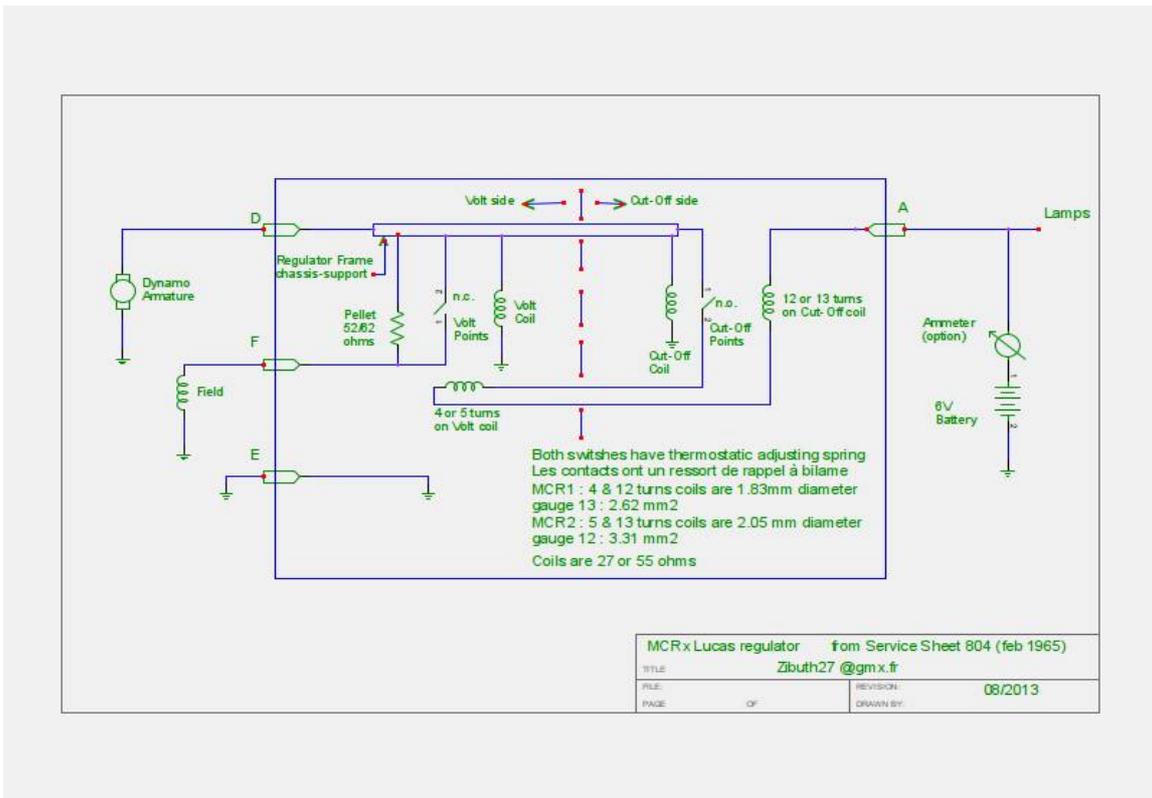


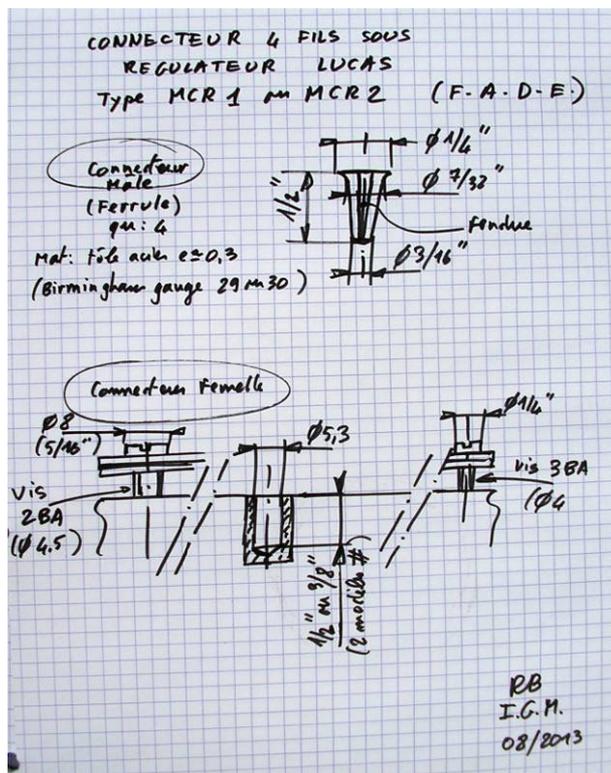
Fig. Y15. Circuit diagram of Charging System.



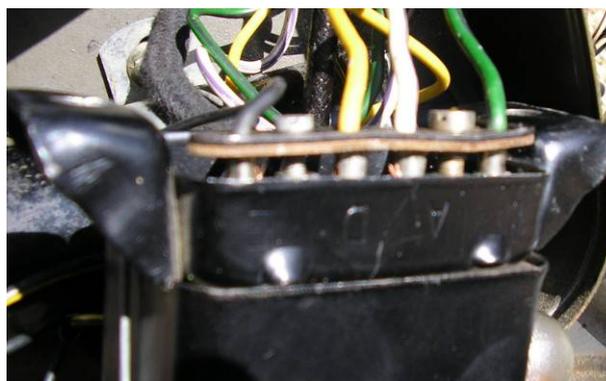
Reconstitution plus moderne du schéma.

4.12 Les ferrules Lucas

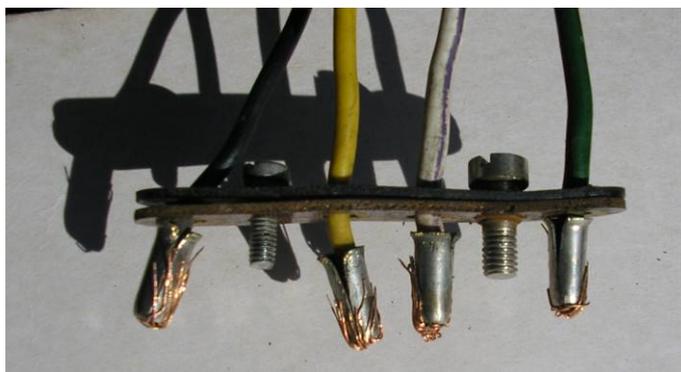
Lucas utilise des ferrules (en british : « ferrules » ou « split bullets ») pour les connexions des régulateurs.



cotes des ferrules et cylindres relevées par Roland Baudet (I.G.Motos)



ferrules câblées insérées dans un MCR2



Pose des ferrules sur les câbles (photos R Baudet)

Les ferrules connectent les bornes du régulateur par pincement du fil entre la ferrule et la douille creuse du régulateur. La qualité du contact dépend donc :

- du diamètre des brins qui doit respecter ce que voulait Sir Lucas
- de l'élasticité et du diamètre de l'isolant des câbles, variables avec le vieillissement et l'humidité
- de l'élasticité et de la forme des ferrules
- du serrage (de l'enfoncement) des cônes des ferrules par la plaque en bakélite

Il est donc facile de croiser des brins, au lieu de les disposer bien à plat sur la ferrule, ce qui crée des surépaisseurs ; le contact se fera par ces surépaisseurs seulement, avec échauffements localisés (et déformations et durcissement de l'isolant) et déformations possibles des ferrules, si l'alliage n'est pas le bon. La plaque bakétille se déforme dans le temps et avec l'humidité, et n'assure plus la bonne force d'insertion des ferrules. Si on brase les fils, à l'étain-plomb par exemple, l'élasticité des ferrules n'est plus assurée. La forme évasée à la base des ferrules assure un contact sur l'ouverture de la douille, à condition que l'appui soit assuré par une pièce élastique (sinon seules deux ferrules seraient bien plaquées), la bakélite qui se déforme avec le temps et l'humidité, choisie par Lucas, n'est pas le meilleur choix de celui-ci. Il y a bien une pièce métallique pour plaquer la bakélite, mais la position des vis de maintien, trop centrées, facilitent leur déformation lors du gonflement de la bakélite et des manipulations diverses.

En bref, la connexion par ferrules n'est pas à la plus grande gloire de Sir Lucas, surtout avec le temps !

4.13 *Paris Rhone*

Photo d'un régulateur Paris Rhone trouvée sur le Net. On voit que les deux contacts se « règlent » uniquement en tordant les parties qui portent les contacts.



4.14 *Ducellier*



Guère mieux

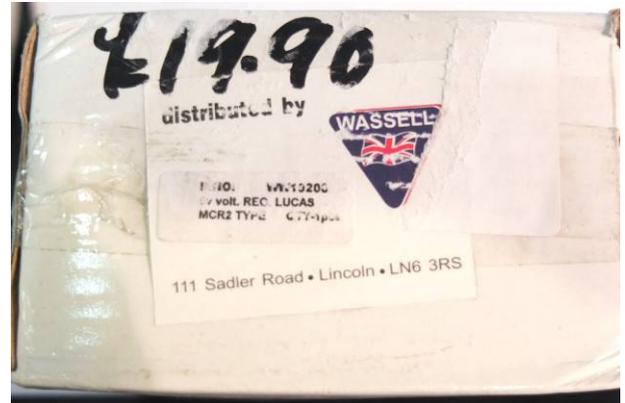
4.15 *Productions asiatiques*

On trouve sur le marché des régulateurs neufs d'origine asiatique indienne ou peut-être chinoise, le Web les qualifie d'indiennes. Ils ont l'avantage d'avoir des composants internes neufs : contacts neufs, ressorts non rouillés, bilames non fissurés entre couches.

Je ne sais évidemment pas me prononcer sur leur qualité avant d'en avoir vu et ouvert. Je ne sais pas notamment s'ils respectent toutes les spécifications des Lucas d'origine ni s'ils en ont toutes les fonctionnalités. Le fabricant a très bien pu ne pas y mettre des fonctions comme la compensation de température et la limitation de courant, ou imposer les réglages par torsion des supports de contact au prix d'une longévité très diminuée (comme dans d'anciennes voitures populaires françaises des fifties-sixties). La prise en compte de l'inductance de l'inducteur fait osciller le régulateur à des fréquences qui peuvent accélérer l'usure du régulateur (mais quand même pas de la dynamo).

4.16 Replica MCR2, régulateur « indien »

Je me suis finalement procuré (moyennant une poignée d'euros) un régulateur « MCR2 replica », d'origine inconnue. Pas de marque, de type, de numéro de série, ni de date-code visibles.



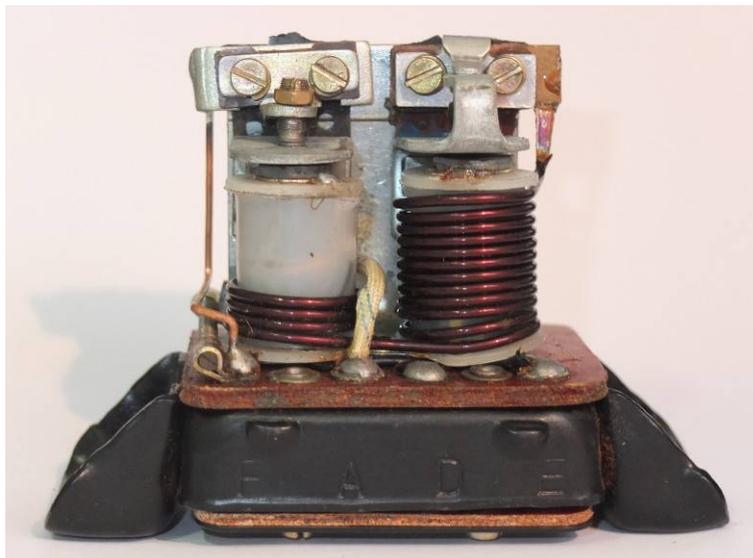
L'étiquette cachée sous une étiquette manuscrite sur l'emballage donne le **distributeur** (« distributed by) et la référence Wassell WW10208 destiné à remplacer le MCR2 Lucas. Il avait été (autrefois) proposé à 19,9 livres, quand ?

Wassell aujourd'hui est seulement un distributeur. A mieux de sa forme en 1976, Wassell produisait des articles en tôle emboutie (réservoirs et carrosseries de moto entre autres). Il est possible que Wassell ait produit en Inde tout comme Royal Enfield (depuis 1955). Le régulateur Replica MCR2 est fabriqué très majoritairement par des pièces en tôle emboutie/découpée, le cœur de métier de Wassell. Il est donc possible que ce régulateur ait été fabriqué par Wassell, l'étiquette pouvant être apocryphe. D'autre part la production locale des Royal Enfield en Inde a peut-être généré une production locale de répliques, il est possible qu'il vienne d'Inde.

On voit qu'il s'agit d'un équipement neuf : les contacts ne sont ni usés ni oxydés, les vis impeccables, pas de traces dans les cylindres à ferrules..

4.16.1 Construction interne

La construction est très voisine du MCR2 à l'exception de la résistance d'étouffement qui était faite par une pastille de carbone chez Lucas et qui est faite ici par un fil bobiné sur barreau isolant.



Bobine de régulation (de tension/courant) à gauche, conjoncteur (cut-out) à droite. La résistance se trouve à gauche, sur l'embase

4.16.2 Qualité de l'assemblage

Aucune des pièces n'est assemblée à angle droit. Pour l'ajustement les palettes sont tordues, parfois même sur deux axes (vis-contre-écrou de réglage entrefer de la bobine de tension).

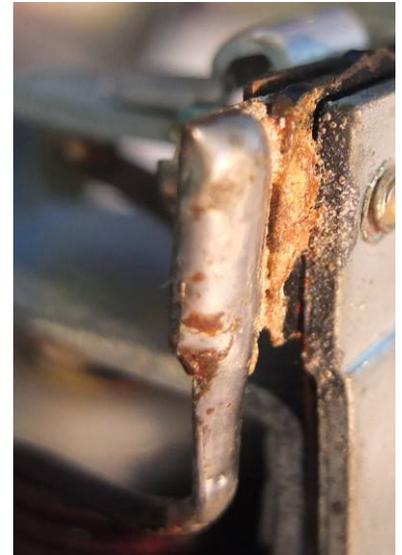
4.16.3 Dégradations présentes

- traces d'oxydations importantes sur la lame-axe du conjoncteur (**défaut important**)
- oxydation de la surface des brasures étain-plomb (**défaut mineur**)
- restes abondants de flux de brasure, non nettoyés à l'alcool isopropylique, et qui montrent un début de corrosion des brasures et fils de cuivre (**défaut majeur**). Ces flux sont souvent activés aux halogénures, chlore et autres, surtout pour les cas difficiles et les résidus sont corrosifs, particulièrement en présence d'humidité. Les fils les plus fragiles, ceux des bobines shunt, seront corrodés les premiers.

Résidus de flux corrosif sur les fils fins



Lame-ressort d'axe virtuel corrodée (à droite)



Résidus de flux corrosif sur les brasures de sortie

4.16.4 Bobinages

Bobines shunt en fil de gauge 34 dia 0,16mm, s : 0,0201mm². Le fil de la bobine shunt est séparé du bobinage de gros fil par un film plastique épais.

Bobines de courant, 4 et 12 spires de fil de gauge 13, s : 1,83mm s : 2,62mm². Ce fil résiste sans problème au courant max de 8,5A d'une dynamo 60W E3L (densité de courant 3,2A/mm²)

4.16.5 Contacts



Contact de la bobine de tension, écrou bloqué et collé



Il est important qu'à la position de repos, le contact se fasse bien à plat sur la plus « large » surface possible, pour des raisons mécaniques seulement : quand le contact « tape » lors de son retour, les surfaces se déformeront moins par matage que pour des surfaces pointues. Electriquement, pour les courants considérés, cela n'est pas si important. Ici on est bien à plat, mais on n'utilise pas au mieux la surface disponible (défaut mineur) . Mécaniquement, le contact tape plus de 50 fois par seconde soit un million de fois en quatre heures, un choc anodin seul, mais qui finit par avoir de l'effet quand il se produit des millions de fois. Une déformation, une usure ont ici une grande importance sur le fonctionnement

L'autre butée, quand la palette vient en bas, ne se fait pas à plat comme chez Lucas, pouvant déformer (sans grande importance pour le fonctionnement). La palette ne tape sur sa butée basse que si l'hystérésis du système (dynamo + régulateur + batterie) crée l'amplitude suffisante.

La bobine de régulation de tension fonctionne ainsi : dès que la tension est suffisante, la palette décolle et la tension de l'inducteur est coupée.



contacts de la bobine conjoncteur

Le décalage des grains de contact est important, presque hors limite, dû à la déformation importante (angles non orthogonaux) de la palette qu'il a fallu apporter pour se trouver dans la plage de fonctionnement (la conception ne fait pas tomber directement sur une position correcte). La palette inférieure est en bronze au béryllium, élastique.

La palette du régulateur de tension est empêchée de coller magnétiquement sur le noyau par une lamelle de métal non ferreux cuivreux.

4.16.5.1 Résistance

La résistance d'étouffement est faite par un fil résistif bobiné sur un barreau isolant et mesure 55,6 ohms. Cette construction permet une dissipation de puissance relativement importante largement capable d'encaisser les 2W max attendus (puissance continue + amortissement énergie excitation)



Le fil est relié au reste du régulateur par sertissage (la face arrière -photo de gauche- n'a pas de brasure du fil, il serait étonnant que seule la face avant -photo de droite- soit brasée). Le sertissage de droite présente une forme correctement circulaire, alors que le sertissage de gauche enveloppe nettement moins bien le barreau : deux tangentes seulement semblent serrées (défaut mineur, sauf si le choix des matériaux conduit à un desserrage après des cycles thermiques). C'est plutôt une résistance bricolée qu'un produit industriel. Elle peut pourtant résister un certain temps. La résistance Lucas avec son montage par lames élastiques absorbant le différentiel de dilatations est beaucoup plus fiable. La panne de la résistance (le seul mode de panne possible ici est l'ouverture du circuit) conduit à des surtensions bien plus importantes que les 76V mesurés ici, et qui détruiront l'inducteur par claquage des isolants.

4.16.5.2 Caractéristiques électriques : tension

Mesurées à 22°C et 2400rpm-dynamo, sur une dynamo E3H prêtée par IG Motos et sur une batterie Yuasa 6N4-2A :

charge à 8,2V à la batterie, tombant à 7,8V après une demi-heure de fonctionnement. C'est beaucoup trop !

Les deux bobines shunt font 19 ohms, soit 38 ohms par bobine.

Les bobines et la résistance font monter la température d'une quinzaine de degrés sous le capot.

4.16.5.3 Caractéristiques thermiques

Mesures en statique de la compensation en température (sur alim labo, je n'avais pas envie de mettre la dynamo et son moteur d'entraînement dans le congélateur puis dans le four) :

- -15°C montant 8,8V descendant 6,5V
- +18°C montant 9,9V descendant 7,7V
- +50°C montant 10,4V descendant 7,2V

Il y a une hystérésis dans le fonctionnement du régulateur de tension.

Le comportement est le contraire du comportement normal (Lucas)

La tension monte quand la température monte. On dirait qu'un artiste a trouvé plus joli de plier le bilame dans l'autre sens !!! Bonjours les dégâts à la batterie !

Espérons que ce n'est que mon exemplaire qui a le bilame à l'envers (on peut toujours rêver). Une chance sur deux que le bilame soit correctement monté.

4.16.5.4 Caractéristiques électriques : courant

Avec des moyens limités (mon alim labo)

à vide (conditions Lucas) en montant 8,5V en descendant 6,7V

avec lampe (4A à 9V) en montant 9,5V en descendant 7,2V

à chaud (à la soufflette, ce n'est pas une mesure mais une vérification du sens d'évolution) :

à vide montant 9,7V descendant 7,2V

avec lampe montant 10,1V descendant 7,3V

Or Lucas dans son « Technical Service Section 5 Generator output control » précise bien
THE REGULATOR SERIES WINDING

In practice, this variation in the operating voltage of the regulator is brought about by adding another winding to the regulator bobbin. In other words, the charging circuit now continues from the cut-out series winding, not direct to terminal A, but through an additional "Series" winding on the regulator bobbin. This winding thus carries all charging current flowing from the generator to the battery and is wound so that it assists the voltage or shunt coil of the regulator in pulling apart the regulator contacts. **The heavier the current flowing, the greater will be the magnetic pull of the bobbin, and the sooner the contacts will open.** Thus in effect we have lowered the voltage at which regulation occurs: our generator will then be working at an operational voltage which is varied according to the current flowing into the battery.

As the battery becomes discharged and its voltage falls the charging Circuit Voltage or "LINE VOLTAGE" will also fall. The action of the COMPENSATING or SERIES winding on the regulator is thus to limit the charging current to the maximum safe output of the generator.

« the heavier the current flowing, the greater will be the magnetic pull of the bobbin, and the sooner the contacts will open » Plus il y a de courant qui passe, plus le circuit s'interrompt tôt = la tension régulée baisse, ce qui correspond bien à ce qu'on attend.

Le Wassell que j'ai fait exactement le contraire ! : un autre artiste a bobiné le fil à l'envers !

4.16.5.5 Conclusions sur le régulateur « indien »

Ce régulateur est monté avec beaucoup moins de soin que le Lucas. La corrosion avait déjà commencé avant que je ne l'installe (il n'est pas livré avec le petit sac de dessicant type Silica-gel, cela ne se faisait pas dans les seventies). Le régulateur a été stocké pendant des dizaines d'années dans une atmosphère humide, comme, par hasard, dans une grande part de l'Inde. La qualité de fabrication et des contrôles est défectueuse.

- Le réglage d'origine est mauvais
- Le comportement en température est contraire à ce que supportent les batteries
- la limitation de courant fonctionne à l'envers

Bref l'exemplaire que j'ai acheté est impropre à l'usage prévu ! (il est donc à vendre !)

5 Quelques régulateurs électroniques du marché et leurs « specs »

5.1 *regulateur V-Reg2 (<http://www.aoservices.co.uk/facts.htm>)*

1. Ideally each dynamo / regulator needs setting up to work as a pair, so it should be adjusted before use.
2. Then there is the issue of long term reliability; something that requires initial setting-up can go out of adjustment.
3. Contacts that are worked hard 'wear' out of adjustment in time, we all know how ignition points wear, the mechanical regulator contacts are no different.
4. There are several manufacturers, so how do you sort the good from the ugly? All electronic components have a specification / limit and to ensure a good overall product any electronics has to cope with some abnormal as well as normal usage, this needs to be designed in from the beginning, such that the whole unit is within safe / sensible limits.
5. Electronic dynamo voltage regulators, like most manufactured goods these days, can be made with different strategies:
6. Cheap & nasty, just good enough to do the job. In this case don't expect good performance or any support from the distributor!
7. 'Up-market' is the other extreme, with lots of un-necessary bells and whistles, and a high price which is often much more than the true value (sometimes the electronics are functionally no better than the cheap & nasty but they do look good!).
8. Good design with a generous specification and a distributor who can offer technical support; now you should get a competent product at a price that is affordable.

Points 1 & 2 Idéalement chaque couple dynamo-régulateur doit être ajusté l'un à l'autre. Donc Problème de fiabilité à long terme : ce qui nécessite un réglage peut se dérégler. Les contacts travaillent beaucoup et s'usent et se dérèglent comme les contacts du rupteur.

un tel discours qui proscrie tout réglage nécessite une référence livrée exactement à la valeur souhaitée. Ou alors Vreg s'autorise une entorse à ce qu'il prône ?

Les régulateurs et inducteurs nécessitent un appariement (donc Vreg annonce lui-même l'évidence que le régulateur ne marche vraiment bien qu'avec quelques dynamos ciblées.)

Point 3 Les contacts qui travaillent dur finissent par s'user. Je ne peux qu'être d'accord.

Point 4 Parmi les fabricants comment distinguer le bon du mauvais ?

La bonne utilisation des composants électroniques se conçoit dès le départ.

Point 5 Plusieurs stratégies possibles

Point 6- pas cher et méchant

Point 7- au-dessus du marché (l'autre extrême), fonctions inutiles, annonces en fanfare et le prix qui va avec, enfin surévalué. Parfois juste aussi bon qu'un autre mais meilleur aspect

Point 8- LA bonne conception, bien sûr, avec des spécifications généreuses (mais qui ne sont pas publiées chez Vreg!! donc on ne sait pas ce qu'on achète) support technique (c'est vrai que ça coûte cher, mais ne rend pas la conception meilleure) et qui vous donne un produit adapté à bon prix

le retour usine concerne surtout les branchements incorrects et clients qui ne lisent pas les instructions, mais Vreg ne veut pas sécuriser la conception, le client ne voudra pas payer le surcoût.

5.2 *nouvelle version Vreg2a (2001)*

Improvements introduced with the V-Reg2a:

- *Tougher electronics, with the introduction of higher energy spark suppression, to reduce spikes generated by the dynamo.*
électronique plus résistante avec suppression des étincelles de haute énergie (produites par le contact vibrant des MCRx) cette énergie est habituellement dissipée dans la diode de roue libre - un des nombreux noms de cette diode - (= diode D2 du Selectronic) OK là c'est une innovation de Vreg et on ne gaspille pas l'énergie de commutation dans une étincelle ou dans une diode de roue libre. Dans le cas de la E3N il s'agit de 40 mH soit ½ LI2 = 80mJ A 40Hz cela fait une énergie dans l'étincelle de 3W. C'est pourquoi les résistances des MCR1 MCR2 sont bien plaquées

sur le chassis pour les refroidir. Cela peut être simplement réalisé par un composant à 10 kopecks : résistance VDR (ou MOV ou Transil ou Transzorb)

- *Current limit to the field winding, allows excellent performance when using a 6V dynamo on a 12V system (see below).*

Limitation de courant de l'inducteur qui permet une excellente performance quand une dynamo 6V produit du 12V. Affirmation un peu incompréhensible pour augmenter la puissance utile (appelée ici la performance) il faut augmenter le courant inducteur. Par contre il ne faut pas, en utilisation 12 V (d'une dynamo 6V) faire comme en 6V : courant max = inducteur relié à la borne dynamo. Là on dépasse largement ce que l'inducteur peut supporter

- *Improved "thermal foldback" which progressively reduces output power if the regulator gets too hot, indirectly limiting the dynamo from excessive current.*
limitation thermique qui réduit la puissance quand le régulateur devient trop chaud. Bonne idée, non vue chez d'autres régulateurs électroniques, mais il n'y a aucune adaptation au modèle de dynamo du client, la dynamo est conforme à un seul type ou elle est mal protégée et cela ne tient pas compte de l'atmosphère batterie
- *Higher specification voltage reference.*
référence de spécifications élevées OK on espère ne pas avoir la dispersion des livraisons Selectronic. Mais QUELLES spécifications ?
- *Better servo loop stability, with new electronics which 'predict' when the output voltage is nearly correct and control the field current earlier.*

meilleure stabilité de la boucle avec une nouvelle électronique qui prédit quand le courant inducteur va bientôt s'arrêter et contrôle le champ inducteur plus tôt

Protection thermique pas vraiment expliquée, je la suppose ici comme un effet secondaire d'un composant interne, mieux vaut maîtriser la puissance dans l'inducteur et le courant de sortie

l'utilisation d'une boucle asservie est une nouveauté (non suivie chez les autres régulateurs). Elle peut simplement se comprendre comme une régulation sur le contrôle de l'inducteur, ou bien comme un fonctionnement analogique de l'inducteur (ce qui serait une révolution, et serait sans doute décrit à plus grand fracas) . On évite les claquages possibles de l'isolant quand la résistance d'amortissement ou la diode de roue libre sont défaillantes (meilleur comportement en cas de fonctionnement anormal)

Par contre pas un mot sur les fonctions des MCR1 MCR2 limitation du courant rotor (sans limitation électronique, il faut mettre un fusible) et compensation de la température de batterie

5.3 Podtronic

aucune spec publiée sauf dimensions

5.4 DVR2 (dynamo regulators limited) 2011

annonce seulement une tension à 7,2V (pour copier bêtement le monde auto) et résistance inducteur obligatoirement supérieure à 2,5 ohms

5.5 DVR4

limitation courant

protection inversions polarité dynamo

protection batterie absente ou défaillante

limitation surtensions



5.6 Boyer Bransden

1. The dynamo regulator unit is designed to replace the mechanical voltage regulator and cut-out used on many motorcycles using the LUCAS E3 TWO BRUSH DYNAMO. This dynamo is designed to charge a 6 volt system, but when connected to a Boyer Bransden Dynamo Regulator Unit it will charge 12 volts at over 120 watts without placing undue load on the dynamo windings. It will also replace the electronic aftermarket direct current regulator units.
2. The dynamo regulator unit uses a very efficient switching device controlled at over 500 times/sec., it's on/off ratio is adjusted electronically by a circuit measuring the dynamo voltage, this switch controls the magnetic field of the dynamo stator without the power loss in the stator coil winding present with a normal direct current system. Also incorporated is a method of maintaining the magnetic field when the switching device is in the off condition. This control is so good that even without a battery, lighting circuits and horn can be run direct form the dynamo without flicker. (Ignition can only be fed when a battery is fitted as no voltage is available at kick-start speeds).
3. With a 6 volt system, charging will start at 1200 RPM; on a 12 volt system 1600-1800 RPM is required. Reduced output voltage will be available from 500 RPM upwards. If lighting is run direct without a battery then the bulbs will be at half brilliance at tick over and full output at 2500 RPM.
4. Battery charging is by voltage control with current regulation, if higher charging currents are prolonged. Stability is maintained by internal thermistor control.
5. A dynamo that has been rewound for 12 volts will start charging at a lower RPM and will work well with this unit.
6. Four units are available - 6 volt positive earth, 6 volt negative earth, 12 volt positive earth and 12 volt negative earth. Size: 66mm x 62mm x 35mm. Weight: 200 grams. 4 x 6mm mounting holes. The Lucas voltage control cover can be fitted over the regulator box to give an original appearance.

Commentaires sur l'argumentaire Boyer-Bransden :

Point 1 : la conversion en 12V

- *se fait en montant dans les tours (lois de base de l'électromagnétisme)*
- *ne charge **PAS** plus le rotor puisqu'il continue à débiter ses 8,5A max et que, en « 12V » ces 8,5A correspondent à 120W sous 13,8V*
- *charge l'inducteur plus qu'en 6V, le circuit magnétique se rapprochant de la saturation, il faut augmenter le courant (relation non-linéaire), il est alors trop facile que la régulation tente de dépasser les 7,9V prévus par Lucas en courant max. Une protection sérieuse de l'inducteur ou un fusible est INDISPENSABLE. Pas un mot de Boyer-Bransden*

Point 2 : semble une description d'un fonctionnement en PWM (modulation de largeur d'impulsion) dont la fréquence varie selon la demande en courant. Cela permet indirectement de passer la fréquence de l'excitation du stator des 50Hz habituels à 400Hz. L'inductance du stator n'ayant pas changé (5mH) ce PWM limite donc la puissance moyenne dans le stator. Mais il faut qu'elle inclue une sécurité (non décrite) ou un fusible (non décrit), car un dysfonctionnement entraîne le courant batterie directement dans le stator. Le stator admet 19W en « 6V » qui atteignent plus de 50W en cas de panne, cela détruit assez rapidement le stator, et le rotor qui est dans un champ trop fort se détruira probablement rapidement aussi. Le maintien du champ magnétique peut être possiblement fait par des condensateurs (ce qui élimine aussi les surtensions stator) ou une bête résistance. La description d'un état OFF de l'excitation indique que l'inducteur n'est pas alimenté en courant continu filtré.

Point 3 : chiffres vraisemblables

Point 4 : présence de « régulation de courant » . On reviendrait aux errements des dynamos trois balais ?? cela signifierait (si le mot était employé rigoureusement) que la dynamo sort toujours le même courant

lampes allumées ou éteintes ? Il s'agit plus vraisemblablement d'une limitation de courant (current contrôle ou current limitation) qui module la régulation à tension constane de base. La présence d'une thermistance est ambiguë ici (sur le limitation de courant ou sur la régulation de tension?) Si elle est étai placée pour mesurer l'air ambiant ce serait TRES BIEN, et reproduirait le fonctionnement des MCR1-MCR2, mais j'en doute, elle protège à mon sens l'électronique interne du régulateur, comme le Vreg2a.

Comment la limitation de courant s'adape-t-elle aux dynamos différentes : les 40W ont un courant de 5,7A max et les 60W ont un courant de 8,5A max

Point 5 : Boyer parle évidemment d'un rebobinage du rotor.

Point 6 : versions différentes, c'est le gage d'une meilleure adaptation que les montages « universels » qui dans les régulateurs se traduisent par un fonctionnement dégradé pour les cas non optimisés.

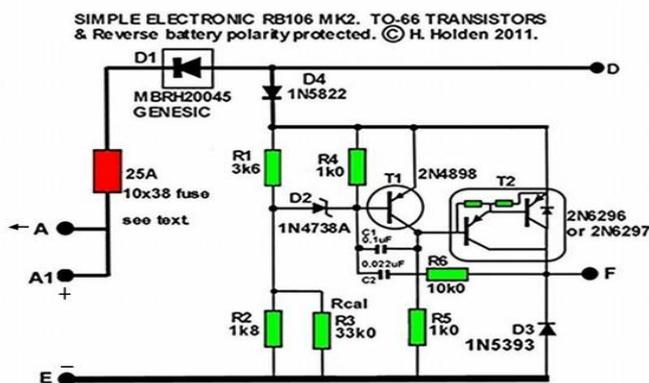
La conception a l'air sérieuse, il faudrait vérifier la protection des rotors et stators, surtout en cas de panne de l'électronique

5.7 Autres schémas qu'on m'a proposé

Proposés par Single Malt via BSAmicale

Avec mes analyses

schéma 1



montage plus simple ne veut pas dire meilleur, ni pire d'ailleurs.

c'est un schéma de régulateur 12V pour **NEGATIF à la masse** et pour inducteur câblé comme Lucas (ce régulateur augmente la tension de sortie quand la borne excitation monte vers la tension batterie) sans plus d'ajustement, la Zener est à 5% soit, si le calage est fait pour 13,8V théoriques, la sortie sera de 13,1 à 14,5V selon l'approvisionnement en diodes (sous-charge ou ébullition), si le calage est fait pour 14V, on verra jusqu'à 14,7V selon la diode curiosités du montage :

étage comparateur avec un simple transistor = imprécision mais meilleure compensation de la température que le différentiel de Selectronic quoique bien réduite par le coefficient en température de la diode Zener, (compensation encore plus foireuse en 12V)

utilisation de la diode de compensation 1N5822: elle est déclarée comme diode anti-con (contre l'inversion de polarité batterie) mais a d'autres effets. Role normal de compensation de la diode MBRH20045 et même technologie (Schottky) mais la diode de cut-out voit sa chute de tension directe varier en fonction du courant débité et la diode 1n5822 voit sa chute de tension directe varier de plus de 0,1V en fonction de l'état de l'excitation, ce qui agit sur la chaîne de comparaison. Il y a une forte intégration des signaux par effet Miller sur T1 (conséquence du phénomène précédent, ou adaptation à la valeur d'inductance, spécifique d'un seul modèle de dynamo ?)

il est fait pour des dynamos de voiture, avec une inductance d'excitation différente des motos. En bref montage curieux, qui marche peut-être bien dans certains cas, mais avec des disparités et une

destination voiture. A mesurer pour un avis définitif.

Présence de deux circuit d'amortissement : une capa Miller C1 et un snubber C2-R6, ne marche bien qu'avec un couple dynamo-régulateur spécifique (*en fait ce n'est pas un snubber à proprement parler, il serait relié entre la bobine et un pôle d'alimentation, il est responsable de la réponse temporelle du régulateur. Il y a présence d'une diode de suppression « classique » qui augmente le temps de démagnétisation de la bobine*). De plus, l'amortissement de la surtension de l'excitation se fait par une seule diode ordinaire, montage qui à lui seul, rallonge la durée de la récupération de la bobine.

Pour passer en 6V, il faut au moins changer de Zener, ici elle est de 8,2V et n'entrera jamais en conduction sous 6V. Les Zener 4V n'ont pas les mêmes caractéristiques (résistance dynamique, coefficient de température) que les Zener 8,2V, il faut donc modifier le circuit de référence de tension, et peut-être autre chose

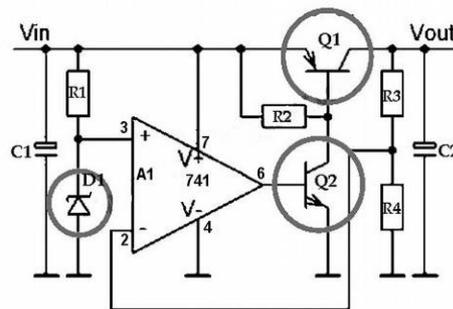
Tout dépend de ton niveau en électronique

Je vois que c'est un régulateur avec un boîtier, prix 45 livres avec port. Sais-tu si le circuit est modifiable (sans moulage epoxy à ouvrir au burin) ?

Utilisation d'un transistor de sortie de Darlington entraîne une perte de puissance de 3W environ, et diminution de la puissance max de dynamo, car l'inducteur n'a pas sa tension max (saturation plus élevée du Darlington ET perte de 0,4V dans la Schottky D4, ça fait 1,5V de moins pour l'inducteur, déjà élevée en 12V mais intolérable en 6V).

schéma 2

Régulateur de série avec asservissement de la tension de sortie



Ce n'est qu'un régulateur de tension !

il mesure la tension ailleurs (batterie) que là où il agit (excitation) : il ne mesure pas la tension dynamo (ou batterie) pour commander l'inducteur. Non adaptable tel quel en moto/auto. l'ampli op est remplacé par un transistor

et il **MANQUE la fonction cut-out**, dans ton nouveau schéma, indispensable pour ne pas griller le rotor, généralement une diode Schottky (il y a encore d'autres moyens de griller un rotor, comme une tension excessive)

un ampli op n'est pas nécessaire, sauf s'il est moins cher qu'un transistor bipolaire, mais il ne sortira pas autant de courant, c'est à toi de voir

on ne travaille pas en régime linéaire, à cause du temps de montée du courant dans l'inductance de l'excitation

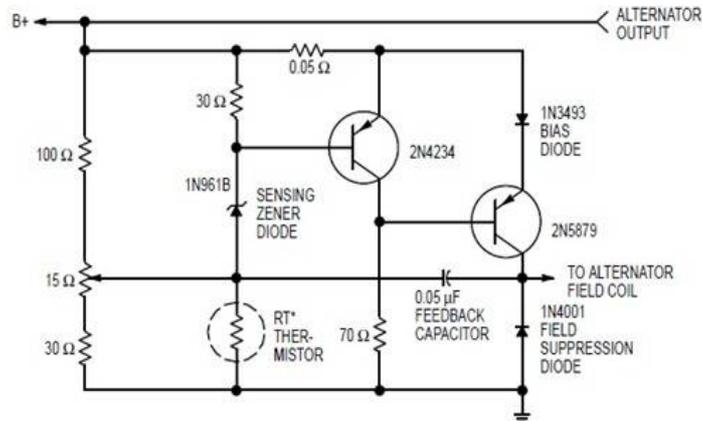
ton nouveau montage est capable de griller très vite le transistor Q1, selon les transistors que tu vas mettre, car il n'y a pas de contrôle du courant.

Où places-tu et comment fais-tu le réglage de la tension?

c'est aussi un montage pour batterie NEGATIF à la masse, mais ce n'est pas un gros problème s'il n'y a

pas d'électronique sur la moto, il suffit de faire marcher la dynamo "en moteur" quelques secondes avec la nouvelle polarité, et hop, on a inversé la polarité

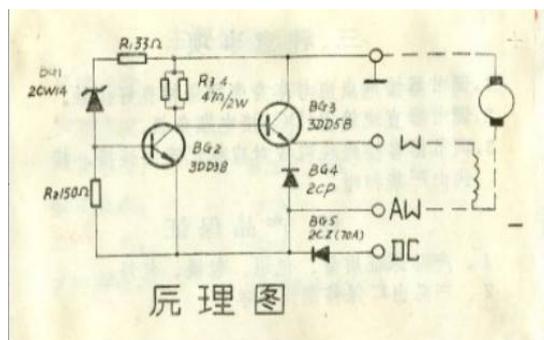
schéma 3



- pour alternateur: cela signifie que le gain magnétique est en général plus important, il faudrait ici calculer plus précisément le gain pour voir s'il est suffisant
- on voit la présence d'une résistance de mesure et de limitation de courant (R 50milliohms) et sensible à la température puisque s'opposant au Vbe
- le fonctionnement en régime de commutation est confirmé par la présence de la diode "bias"
- la zener est soumise à fort courant (si 14V de tension sortie alternateur la diode voit une soixantaine de mA alors qu'elle est prévue pour 10mA et 500mW, on en est à 600mW!), elle a un fort coefficient de température (parce qu'elle est de 10V) et est donnée sans précision de sa valeur par fairchild
- la thermistance est montée directement sur le circuit de référence, selon la vraie valeur de la zener, l'effet de la thermistance va être plus ou moins important.
- pas de cut-out du tout, même pas de diode, : tel quel c'est le grillage assuré du rotor pour une dynamo, c'est évidemment pour alternateur voiture

Vlà ma première analyse de ce qui ressemble à un montage Selectronic: ça marche parce que les valeurs du proto étaient ce qu'elles étaient en labo, en série ça foire. Ou alors c'est une VRAIE grosse fabrication en série, et les composants sont triés ou garantis dans la bonne fourchette

schéma 4



c'est plein d'astuces ton crobard ! En fait ressemblant quand même au schéma 3 avec des simplifications (et ça, c'est pas toujours facile !) représentation à l'envers, plus tordu encore que les british! (mais justifiable électroniquement)

transistor de sortie :

- forçage de l'auto-amorçage par R3-4 et BG3
- la diode BG4 sert de roue libre,
- BG3 sort sur l'émetteur, non recommandé, mais la diode BG4 est là, il ne reste plus que le risque (de

second ordre seulement) de surcourant base de BG3 en cas de forte oscillation négative résiduelle, normalement déjà bien étouffée par BG4

comparateur :

- fait par la diode Zener BG1 et la jonction base-émetteur de BG2
 - lorsque la tension est trop forte le transistor BG2 court-circuite la jonction base-émetteur de BG3, donc plus de courant inducteur : OK
 - compensation en température insuffisante : $2\text{mV}/^\circ\text{C}$, annulée par le coefficient de température positif des diodes à 6.5V demandées par ce schéma
 - circuit très sensible à la sélection de la diode Zener (voir les problèmes du régulateur de Fred), donc **non reproductible par le particulier**. Ne marche qu'en grande série, et quand on peut écouler les diodes hors de la tolérance très précise qu'on demande. Les diodes Selectronic que j'ai vues font des sorties batteries de 7.76V à 8.48V
 - gain faible : un seul étage avec résistance de collecteur de 47 ohms seulement! on peut attendre une ondulation importante de la sortie, mais pourquoi pas, si elle est tolérable?
- Pas de limitation de courant rotor

Ce schéma est valable pour les dynamos à point commun stator-rotor coté sortie dynamo : applicable à des Miller mais pas aux Lucas

6 Le nouveau régulateur

6.1 Modules fonctionnels,

Dans lesquels je vais puiser pour la conception

6.1.1 La référence de tension

La référence de tension est la base du régulateur. Elle est fondée sur un champ magnétique et la raideur d'un ressort dans les MCR1/MCR2 et la distance d'air entre palette et noyau, cette référence est modulée par l'action d'un bilame sur le ressort de rappel des contacts. Elle est aussi modulée par le courant. Il ne me semble guère possible de trouver une référence qui ait une stabilité correcte, affublée directement du bon coefficient de température.

Je préférerais (mais cela complique le schéma) utiliser les valeurs mesurées à la batterie plutôt qu'à la dynamo (surtout si je suis amené à utiliser une diode Schottky à chute de tension « constante » de 0,5V) soit la courbe du §2,4 qui linéarise le coefficient de température. L'équation de la moyenne donne une valeur origine à 0°C et 7,52V et une pente de -12 mV/°C .

références possibles :

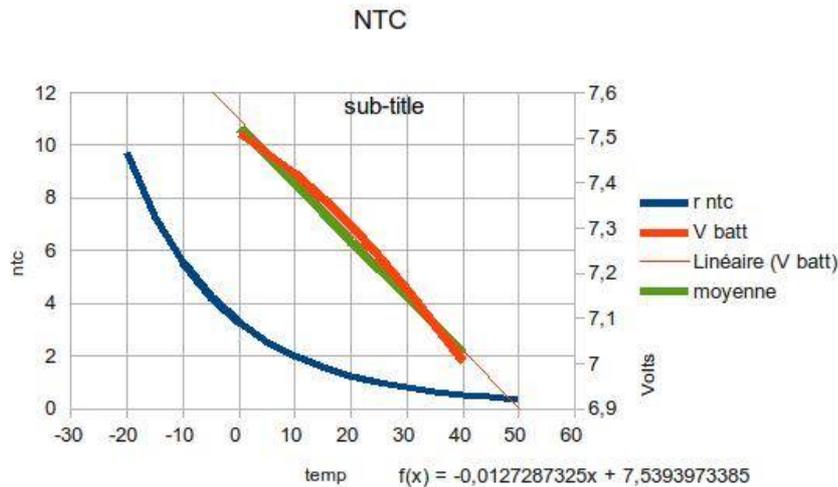
LM78L05 régulateur 5V, sa tension varie selon la pièce livrée (mais ne varie plus guère après !), de 4,75 à 5,25V, il faudra prévoir un ajustement. Son coefficient de température est de -0,65mV/°C, près de 20 fois trop faible si on veut compenser par lui.

LM336-5 référence 5V, sa tension varie selon la pièce livrée de 4,9 à 5,1V, sa stabilité à long terme (1000heures) est de 20ppm (0,020%) et son coefficient de température est de l'ordre de - 0,065 % à +,065 % en fonction de la tension initiale. Il y a de plus la possibilité de faire varier la tension de référence de 4 à 6V, sans affecter la stabilité

LM235 capteur de température, il donne directement une valeur en Kelvins x 10, soit une sensibilité de +10mV/°C, soit aussi 3,00V à 27°C, pratique et reproductible.

thermistance (résistance à coefficient de température négatif CTN en français et NTC en british) sa variation est très importante mais absolument pas linéaire, elle est dans le bon sens (coefficient négatif) $1/T = A + B \cdot \ln(R/R_t) + C \cdot \ln(R/R_t)^2 + D \cdot \ln(R/R_t)^3$ (T en Kelvins). Tellement sensible pour un particulier qu'il devrait connaître précisément ses paramètres ou les mesurer (bain d'huile stabilisé obligatoire). Ces paramètres varient naturellement selon les lots, un industriel peut facilement obtenir ses paramètres ou les mesurer, et il achète plutôt par lot de 100 000 pièces ! Associée à des résistances, son effet peut être plus ou moins adapté au besoin. Mais cela ne se prête pas au bricolage ! Mieux vaut ne pas compenser et rouler à « météo constante » que faire n'importe quoi, vous êtes prévenus.

Une référence accompagnée d'un ensemble série/parallèle et d'une thermistance peut donner un résultat intéressant



Pratiquement, la pente est correcte dans la gamme de température 0 à 40°C, plus probable que -20 à +50°C. Mais le montage fonctionnera quand même à -10° ou à +50°C, simplement vu la probabilité pratique, je m'abstiens des calculs et vérifications des protos. Et puis j'ai le droit de me limiter à 0 +40, comme le font tous les appareils photos, même d'une qualité certaine !

La courbe colle suffisamment près à la valeur moyenne des fabricants Yuasa, PowerSonic et IBT : montage adopté ! (si je reste avec des thermistances) Reste plus qu'à l'essayer et affiner les premières approches de mes calculs et simulations.

6.1.2 La commande d'inducteur, positif à la masse

Avec un transistor MOS, les polarités sont favorables à l'emploi de composants performants et bon marché. La grille peut être simplement connectée à la sortie du comparateur (qui nécessite toutefois un pull-up). Certains auteurs (H Holden) clament une mauvaise fiabilité des MOS en usage régulateur. A titre conservatoire, je vais employer un transistor à jonction classique.

6.1.3 Le conjoncteur-disjoncteur, positif à la masse

Avec un transistor MOS plus puissant, les polarités sont favorables à l'emploi de composants performants et bon marché. Le montage le plus simple est fait par un comparateur sensible (surtout qu'on cherche à diminuer les pertes du régulateur. Le fonctionnement est le même que celui du MCRx, conjonction dès que la tension dynamo est supérieure à la tension batterie, disjonction dès qu'elle est inférieure. L'intérêt du MOS est sa faible dissipation thermique en comparaison de la diode Schottky de Selectronic qui peut dissiper 5W (si on dépasse un peu le courant normal, dépassement facile puisque Selectronic ne limite pas le courant et ne calibre pas ses Zeners). L'utilisation d'un comparateur classique est facilité par la polarité positif à la masse puisque son mode commun se trouve proche de son alimentation négative. Pour simplifier, je vais rester à la Schottky.

6.1.4 La limitation de courant, positif à la masse

Il faudrait introduire un shunt dans le circuit batterie, ce shunt peut aussi servir à la conjonction-disjonction, une résistance de l'ordre de la dizaine de milliohms entraînera une chute de tension de la centaine de mV, facilement détectable par un comparateur et tolérable sur la machine : c'est bien moins que les MCR1-MCR2. On pourrait songer à utiliser un capteur à effet Hall comme la série Pololu mais pour obtenir une certaine précision, il faut l'alimenter en 3,3V (ce qui rajoute un circuit régulateur et rend le montage plus complexe. De plus, comme il est prévu pour le Lo-side (coté négatif de l'alim à la masse), il ne supporte que des surtensions de 100V, vite atteintes lors des commutations inductives, de plus, j'ai été déçu par sa précision réelle (il y a plein de petits caractères dans sa spécification).

L'utilisation d'un comparateur classique est facilité par la polarité positif à la masse puisque son mode

commun se trouve proche de son alimentation négative : c'est le mode commun « préféré » des comparateurs.

L'intérêt de ce montage est que la tension n'est pas diminuée en approchant de la limite de courant, par opposition au Lucas MCRx.

Pour un régulateur simple, on peut se contenter d'une protection par fusible

6.1.5 Utilisation de relais

Le bon vieux relais électromagnétique n'est pas ridicule ici, au contraire :

- Sa résistance série est de l'ordre du milliohm, donc pas de perte des précieux Watts (sauf bobine)
- Sa bobine demande 0,4W pour l'activer, soit dix fois moins de pertes que la diode Schottky
- Il résiste à 100 000 cycles de commutation à plein régime. Ici on va passer en cut-out à un faible courant (admissible par le rotor), donc ce nombre de cycles devrait être largement dépassé. Il ne posera aucun problème pour la durée de vie restante des motos vintage
- le seul moment où il commute à pleine charge c'est lors d'un surcourant, cas anormal et qui ne doit pas perdurer
- il coûte 1,5€ chez Conrad, soit moins cher qu'un bon MOSFET

L'utilisation de ce même relais pour la fonction limitation de courant ne devrait pas normalement rajouter de cyclages. Un voyant ou buzzer d'alarme de surcharge peut être utile.

Il ne faut surtout pas utiliser de relais de supermarché, qui coûtent en réalité deux fois plus cher, dont la bobine consomme plus, en plus sans garantie de qualité !

Je pense utiliser le relais Omron G5LE-1-VD 5 VDC qui existe aussi en 12V

6.1.6 La commande d'inducteur

Le transistor de commande doit assurer le courant dans la bobine d'excitation (2,8 A dans le cas de bobine à 2,5 Ω) La commande doit aussi assurer le passage du courant vers l'excitation pendant la phase d'auto-amorçage de la dynamo. Une solution consiste à mettre un transistor PNP en émetteur commun (il faut toujours sortir sur un collecteur, car la tension de claquage y est bien plus forte que sur l'émetteur et comme le collecteur est un générateur de courant, il est moins sensible aux court-circuits), la base reliée en permanence à la masse par une résistance assurant le courant collecteur max demandé. Par défaut, ce transistor est toujours conducteur (pour l'auto-amorçage), la régulation consiste donc à inhiber plus ou moins ce transistor. Le courant base correspond à une saturation du transistor à son gain mini, ici 155mA et 6,8V donc pratiquement une résistance de 25 Ω la dissipation dans la résistance sera alors de 1,8W. On peut être tenté de monter un transistor Darlington pour diminuer le courant base, mais on a une perte supplémentaire (par sa saturation à une valeur plus élevée, d'au moins un volt) de 2,5W mini. Le Darlington n'est donc pas intéressant ici. En 12V, on peut revoir ce raisonnement en raison de la dissipation de la résistance de base.

Ce transistor sera un TIP31C qui tient 100V et 6A pour un gain de 15 à 3A. Bien vérifier le gain en charge : Le transistor doit assurer les 3A avec la résistance de 50 ohms

Commande par transistor MOS. Elle nécessite un transistor dont la tension de commande de grille permette un courant dès 4V (transistors « à commande TTL ») et assure une perte inférieure à 1W à 2,5A soit une résistance ON de 0,16 Ω . Un IRF1010E ferait l'affaire avec une tension grille source max de 4V, sa résistance ON est de 11m Ω et son courant max de 60A.

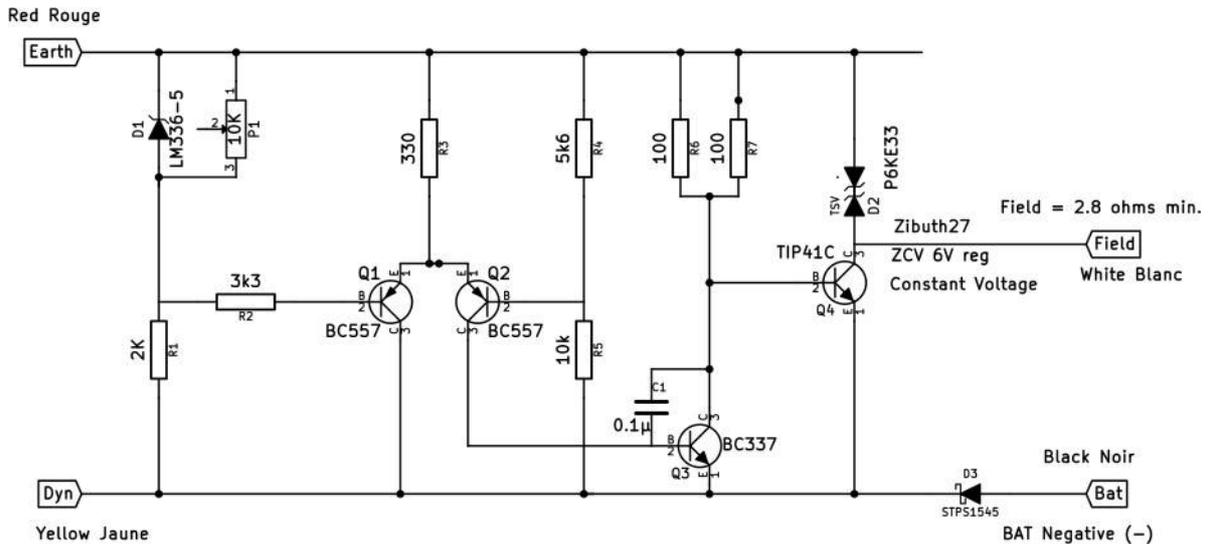
Le montage avec MOS canal N est inadapté à une batterie négatif à la masse, les MOS canal P sont mauvais et bien plus chers.

La commande d'inducteur peut aussi être réalisée en courant continu, et devient alors insensible à l'inductance de l'inducteur, seule sa résistance importe alors.

6.1.7 Schéma à tension constante, version transistors : ZCV

Le schéma est proposé pour réalisation par des particuliers, capables par eux-même de travailler à partir d'un schéma, je ne peux prendre en charge les débutants qui se lancent.

Ce régulateur a été essayé avec dynamo et batterie.



Q1 = LM336-5 (le schéma ne montre pas la troisième électrode du LM336, ADJ, qui est à connecter au curseur du potentiomètre)

Q1 = Q2 = BC557

Q3 = BC337

Q4 = TIP41C sur radiateur, gain vérifié à 3A

D2 = Transil P6KE33CA 33V bidirectionnel (peut aller de P6KE24CA à P6KE39CA (de 24 à 39V)

R1 = 2k

R2 = 3k3

R3 = 330Ω

R4 = 5k6 1 %

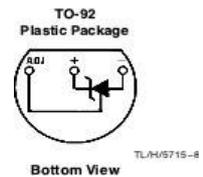
R5 = 10k 1 %

R6, R7 = 100Ω 0,6W, placées à 4mm du circuit car elles chauffent

D3 = STPS1545 (vérifiée pour l'absence du bug Selectronic) montée sur radiateur

C1 = 0.1μF 50V

La vérification du gain de Q4 se fait simplement en câblant juste le TIP41 et ses résistances de 100 Ω, le transistor doit pouvoir débiter 3A. Il est quand même hors de propos de ce papier d'expliquer cette mesure.



Le schéma est en plus transposable en batterie négatif à la masse

Ce schéma est simple, réalisable presque par tous, permet l'auto-amorçage de la dynamo (dès lors que la tension générée par la rémanence est supérieure à 1,5V).

La conjonction est assurée par une diode Schottky STPS1545 ou MBR1545 (ou mieux une MBR20100 dans sa version boîtier totalement recouvert de plastique, qui a l'avantage de ne pas nécessiter de canon isolant, son boîtier étant déjà isolé, il suffit alors de mettre un film thermique pour assurer un bon transfert thermique) moyennant une perte de 4,3W pour une E3L et 2,8W pour une E3N ou E3H. **La protection du rotor contre la surcharge est assurée par un fusible (indispensable)** de 10A pour une E3L et 7,5A pour une E3H ou E3N. Pour éviter une perte de 2,5W supplémentaire, le transistor Q4 ne sera pas un Darlington mais un transistor simple type TIP41C, la résistance R6+R7 sera de 50 Ω, puissance 1W2, faite par deux résistances en parallèle, de faible précision (5 % est OK), elles chaufferont moyennement en fonctionnement normal.

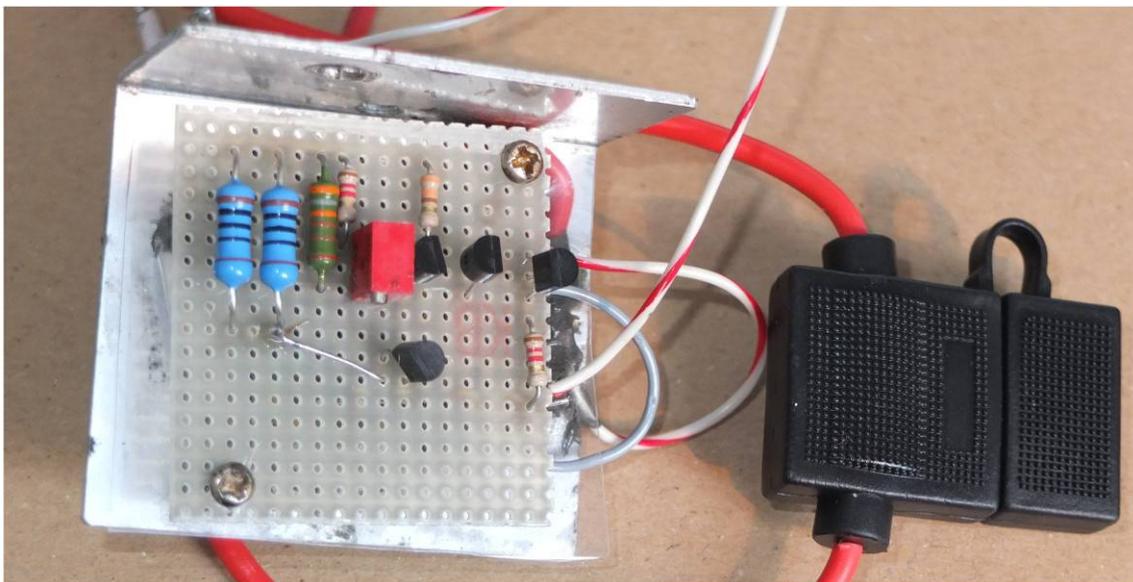
Avec les valeurs de résistances indiquées (à respecter impérativement, les résistances R4 et R5 doivent être précises à 1 % minimum.

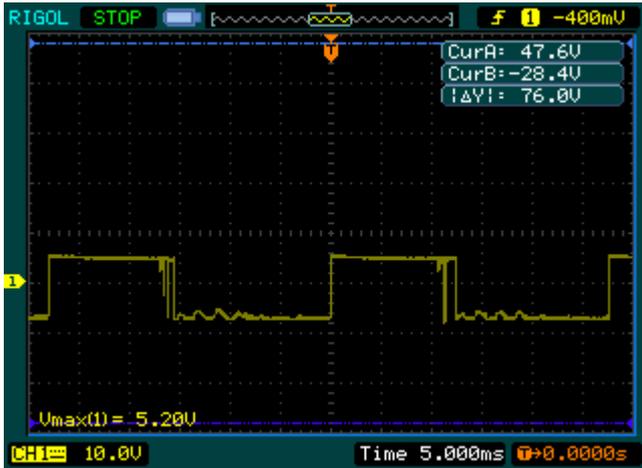
Les transistors de puissance Q4, D3 (pas indispensable) et D2 sont montés sur le radiateur. Pas de montage rigide hyperstatique entre la carte et le radiateur (comme Selectronic). Le fusible indispensable est bien visible,

le premier proto fonctionne sur la dynamo Lucas E3H dont je dispose pour ces essais, puis va être confié à Roland Baudet (Institut Gériatrique Motos) pour essais routiers, avant de passer à un rouleur pour essais d'endurance.

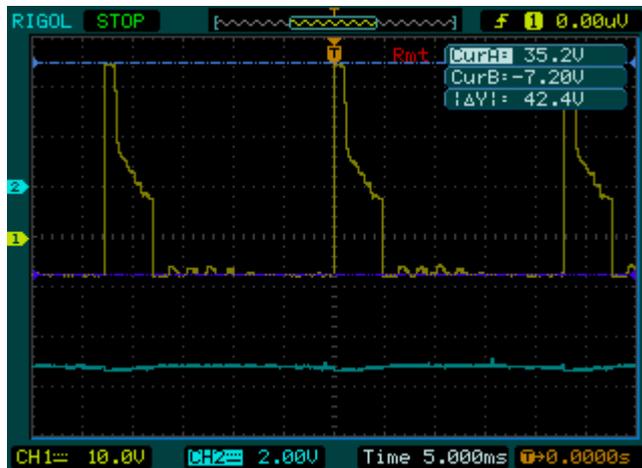
Il faut régler le potentiomètre en fonction de la température du capteur lors de l'installaion. A mesurer avec un thermomètre digital qui sera toujours meilleur que les thermomètres à alcool (regardez donc les thermomètres dans un rayon de supermarket, ils sont pourtant à la même température, mais montrent des variations jusqu'à 5° !)

temp	Réglage (volts)	min	max
-10	7,95	7,71	7,79
0	7,62	7,39	7,85
10	7,41	7,19	7,63
20	7,245	7,03	7,46
25	7,17	6,95	7,39
30	7,095	6,88	7,31
40	6,99	6,78	7,20
50	6,90	6,69	7,11



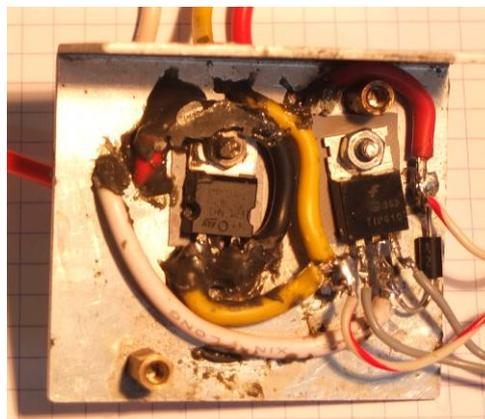


Tension Excitation, dynamo E3H avec ZCV, à 2400rpm
 soit environ 1800 rpm moteur
 tension de sortie 7,3V batterie,
 5 diodes 1N4001
 période 28ms T_{ON} 11ms
 V_{max} +4,8V V_{min} -7,6V



2400 rpm
 en jaune, la tension inducteur passe de -7.2V (tension batterie, le curseur n'était pas précisément placé, en réalité 7.3V) à +35V pendant la phase d'éteuffement qui dure 0.8ms. Le zéro est au milieu
 en bleu la tension batterie, Le zéro est 1 carreau au-dessus du milieu
 La fréquence de cyclage est voisine de la précédente, environ 48Hz
 La tension crête de 35V est à comparer aux 76V du montage Lucas-Wassell et posera encore moins de problèmes d'isolement

Le courant de la diode Transil montre une pointe à 2A (en fait c'est englobé dans un triangle rectangle donc l'intensité efficace est de moins de 1A), supportable par la diode qui tient 5A en pointe et sa dissipation moyenne inférieure à 2W, supportable sur les 5W autorisés, un collage au radiateur aidera à sa dissipation.

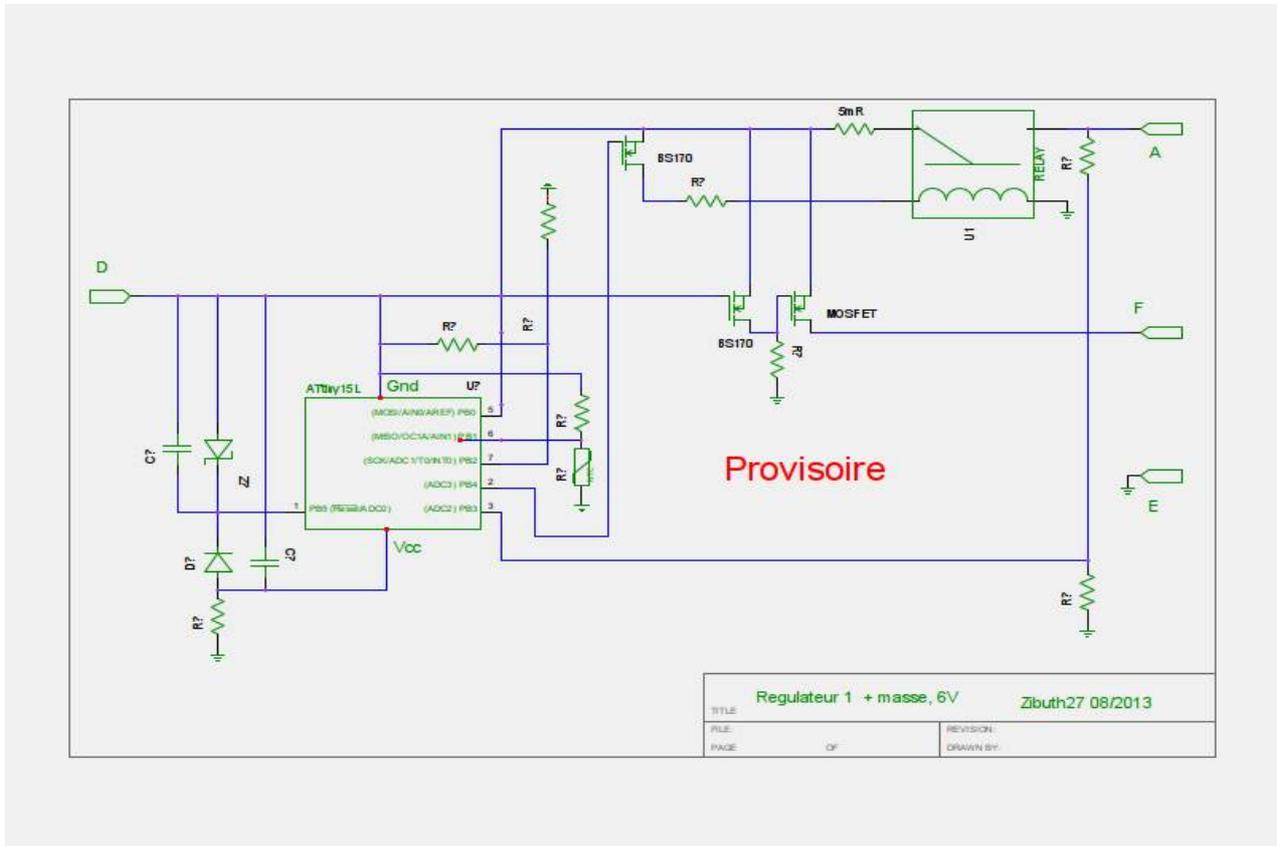


Câblage des composants sur radiateur, avant enrobage final par epoxy

6.1.9 Schéma de principe préliminaire, version microcontroleur

(en cours de conception, attention schéma non transposable en batterie négatif à la masse)

Ce régulateur commandera l'inducteur par une tension « analogique » et non plus en commutation permanente.



7 Liens, sources

- BSA Factory Service Sheet 804 :
- Lucas Workshop instructions L3-A
- J Gardner Lucas electrical data, extraits de son papier sur la conversion 12V
- Travaux, sur Lucas voiture, de H Holden, de haut niveau, mais en anglais : www.worldphaco.net, mais il ne compense pas en température, et utilise parfois des Darlington

Merci à l'ami Roland d'IG Motos (l'Institut Gériatrique des motos) de m'avoir prêté régulateurs et dynamo, et fourni les éléments sur les ferrules Lucas.