

# SIDAC / IGBT SPARK GAP "SISG"

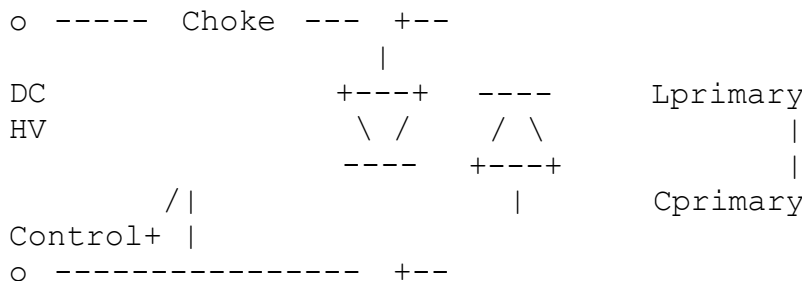
Terry Fritz  
July 27, 2006  
Rev 1.9 minor updates

## INTRODUCTION

Обсужден новый "электронный" пропуск искры, используя надежный, простой, и полностью сам содержащиеся секции. Эти секции могут быть объединены, последовательно, чтобы позволить высокое напряжение, переключающееся в токе высокого напряжения с очень низкой потерей. При использовании SIDACs для напряжения вызов, которым управляют, и IGBTs как текущий элемент прохода, каждая секция может стрелять в заданное напряжение и остаться в течение predetermined отрезка времени. Эффективное сопротивление каждой секции чрезвычайно низко по сравнению с обычным пропуском искры - решительно сокращение потерь мощности.

## BACKGROUND

2 марта 2001 Антонио Карлос М. де Кеирос сделал почту к списку рассылки катушки Тесла Purman, описывающему DC переключающаяся топология, которая образовывала основание для OLTC, DRSSTC, и теперь SISG:



SCR держал бы основное напряжение в течение некоторого времени и, когда вызвано, будет автоматически выключен после каждой половины цикла, в то время как диод проводит.

Есть многие мощные IGBTs, которым уже встраивали антипараллельный диод в них, и они могут взять сотни или тысячи амперов для короткой продолжительности. Таким образом фундаментальный стандартный блок для мощных подрывных катушек Тесла был введен. OLTC использовал один такой блок очень высокого тока, но низкого напряжения. DRSSTC использует четыре блока в конфигурации H-моста. Однако, эти системы были ограничены 300-600 В из-за трудности в укладке многих таких секций вместе. Они также потребовали значительной электроники контроля, которая делает такие системы сильно отличающимися, чем обычный пропуск искры печатает катушки Тесла. Однако, исполнение DRSSTC является выдающимся!



## Parts List

REF	QTY	DigiKey#	Description	Cost (10)	Total
C1	495-1294-ND		100nF 250V Poly Capacitor	0.37	0.37
D1	1N5819DICT-ND		1N5819 Diode	0.30	0.30
Q1	IRGPS60B120KDP		1200V IGBT with Diode	14.95**	14.95**
R1-R3	1.0MQBK-ND		1M Ohm 1/4W Resistor	0.02	0.06
R4*	4.7KQBK-ND		4.7K Ohm 1/4W Resistor (5k pot!)	0.02	0.02
R5*	100QBK-ND		100 Ohm 1/4W Resistor (51 Ohms)	0.02	0.02
Z1-Z3	K3000F1-ND		300V TO-202 SIDAC	0.86	2.58
Z4	1.5KE24CADICT-ND		24V 1500W Bi-TVS	0.60	0.60
Z5	P6KE33CADICT-ND		33V 600W Bi-TVS	0.45	0.45
Cost per 900V SISG section.					19.35

Note that the heat sink, thermal glue, PC board, hardware... will add to the cost.

\*The values of R4, and possibly R5, are adjusted to a specific system. R4 should probably be a small 5k pot! R5 should probably be 51.  
 \*\*Check with <http://irf.com> for the best priced supplier. The leaded version (IRGPS60B120KD) is commonly available and far cheaper!!

Есть, конечно, компоненты кроме тех определили здесь, это может использоваться. Основной кругоборот прост и не важен. У потребностей IGBT также есть очень высокая способность потока пульса с низким сопротивлением SE. И конденсатор должен быть типом пульса тока высокого напряжения. Длины пути от эмитента через схему загрузки ворот должны быть сохранены короткими, чтобы минимизировать индуктивность. В говорят, что 800 амперов, только 10nH индуктивности эмитента могут добавить 12 В к напряжению ворот! Средства управления Z5 это в любом случае.

Фактическая операция кругоборота следующие:

Поскольку напряжение через систему увеличивается, нет никакого электрического тока, пока SIDACs не стреляют о 900V. Резисторы R1-R3 и R4 уравнивают напряжение через серийные множества во время основного зарядного цикла кепки как показано в рисунке 3.

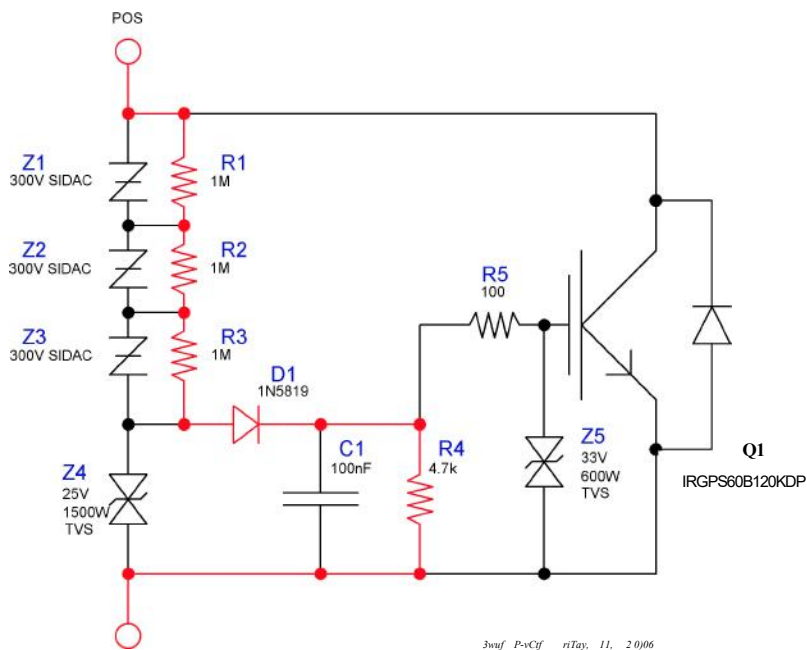


Figure 3. Pre-firing state. Note that at "just under"

900V there is 1.4 volts across the IGBT gate.

$V = 1/C \int i(t) dt \implies 25 = 1 / 100E-9 \times 785E6 T^2$  Однажды огонь SIDACs, начальные основные электрические токи в пути, показанном в красном в рисунке 4. Если мы примем основную систему на 250 кГц с пиковым потоком 500 амперов (довольно напряженный случай), то поток увеличится при уровне 785A/uS. / 2 T == 64nS

So the capacitor reaches a 25V charge in roughly 64nS.

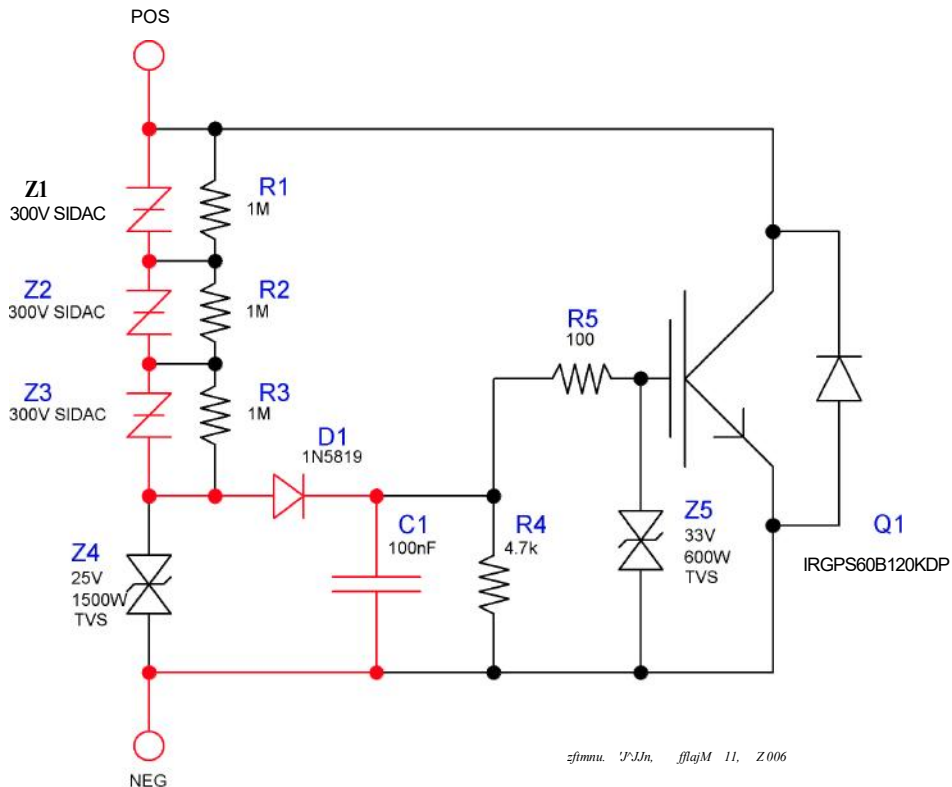


Figure 4. SIDAC firing state.

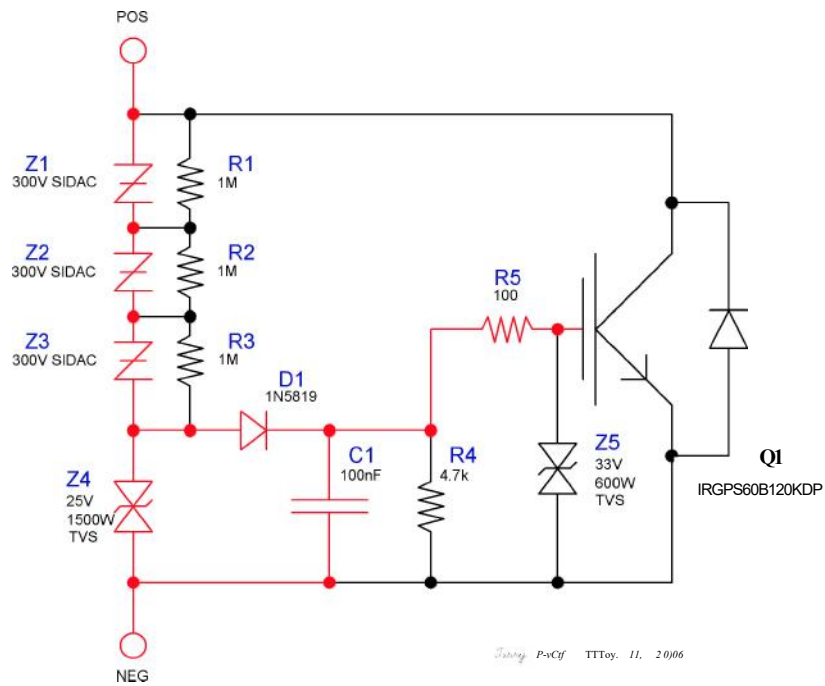
Когда конденсатор достигает 25V, траншар принимает главный текущий груз как показано в красном в рисунке 5. Эта последовательность оценена примерно в 100 амперах, который, "мы надеемся", дает время, чтобы включить IGBT, чтобы принять полный груз потока кругооборота (200nS).

Показанный IGBT имеет во входной емкости 4.3nF. и это начинает обвинять в конденсаторе, но медленнее из-за резистора на 100 омов. Резистор замедляется, IGBT включают так конденсатор, может зарядить к полному напряжению. Если мы предполагаем, что IGBT начинает включать твердый (100 амперов) в 9 В, мы можем найти время, которое требуется для IGBT, чтобы принять поток груза.

$$V_g = V_o (1 - e^{-T/RC}) \implies 9 = 25 (1 - e^{-T / (100 \times 4.3E-9)}) T = 192nS$$

Мы добавляем 64nS до в течение полного времени 256nS (как раз вовремя ;-))

Ценность резистора может быть изменена как необходимый. В последнее время это похоже, что 51 ом мог бы быть лучшей ценностью для Тонны = 162nS.



Заряженный рисунок 5. C1 и Z4 принимает текущий груз.

Как только груз принят IGBT (рисунок 6), кругооборот собирается бежать как полный shorted пропуск (красный путь). IGBT передаст поток в одном направлении, и антипараллельный диод передаст поток в противоположном направлении. С напряжением через удаленный SIDACs они в конечном счете выключат и возвратятся в государство перед огнем.

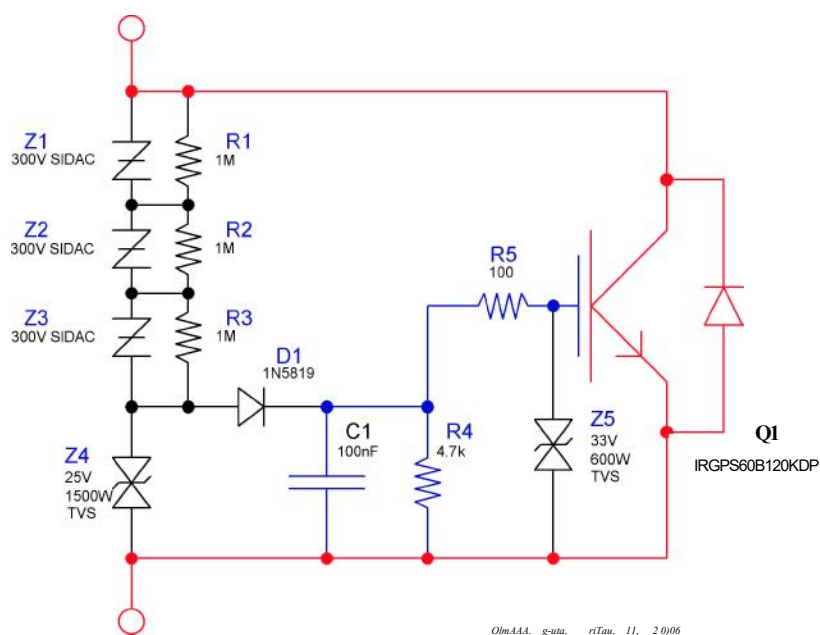


Figure 6. IGBT takes over current load.

Без электрического тока в конденсатор и никакой путь потребления тока кроме 4.7k резистор (R4), IGBT останется в проводимости до падений напряжения ворот приблизительно к 4 В, которыми управляет (синий) путь утечки. Поворот - от времени следующие.

$$V = V_0 \times e^{(-T/RC)} \implies 4 = 25 \times e^{(-T / (4700 \times 104.6E-9))} \quad T = 901\mu S$$

Таким образом пропуск останется в проводимости после того, как основной поток рассеет, но задолго до следующего цикла увольнения. Эта ценность резистора может также быть изменена "по желанию", чтобы приспособить "подавление".  
Время  $191E-9 \times R4$  секунды. Переменный потенциометр является лучшим здесь.

## COMPUTER MODELING

Компьютерные модели могут использоваться, чтобы изучить катушки SISG с некоторыми модификациями от стандартных моделей. Кругооборот, введенный Гари Ло с 555 кругооборотами таймера, может управлять пропуском искры, функционируют и выключают. MicroSim (свободная студенческая версия 9.1) модель показывают ниже. Отметьте, что конденсатор в потерях катушки индуктивности в основной и вторичной системе теперь важен! С таким низким пропуском потерь дополнительная энергия больше не расходуется в пропуске искры. В случае основной системы, запускаемой без вторичной системы в место, говорить 1000W энергии должно пойти "куда-нибудь"... Больше не пропуск искры гигантская энергия "слив"!! Нагревание катушек индуктивности и основной кепки в "высоком случае потерь" может теперь быть очень существенным! Обычно, огромное большинство энергии должно пойти заголовки. Но в противном случае будьте осторожны, так как это должны пойти куда-нибудь, и вероятно никакое место, хорошее...

## TESTING

Основная единственная секция была проверена к 800 амперам с эффективным сопротивлением на 0.02 ома по сравнению с 3 омами resistance для типичного пропуска искры. Очень низкое сопротивление позволяет индуктивности становиться существенной. Напряжению и текущим графам действия SISG показывают 9 в цифрах и 10.

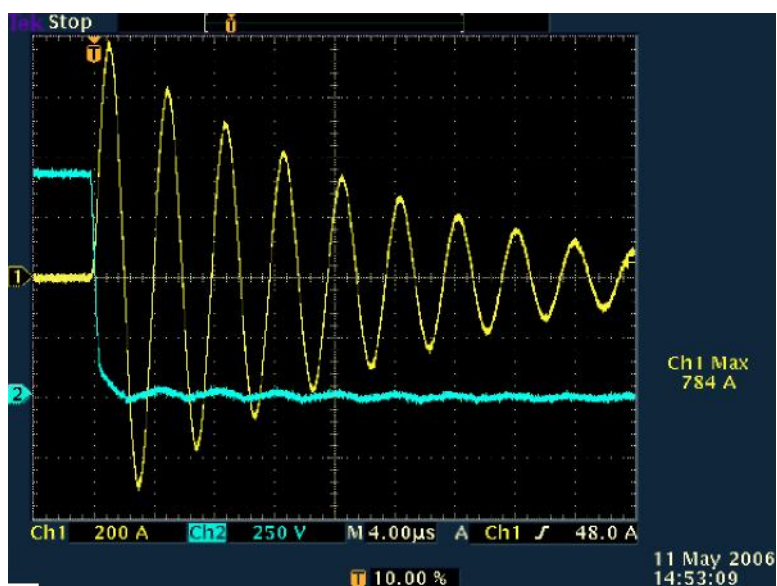


Figure 9. Current through and voltage across the SISG.

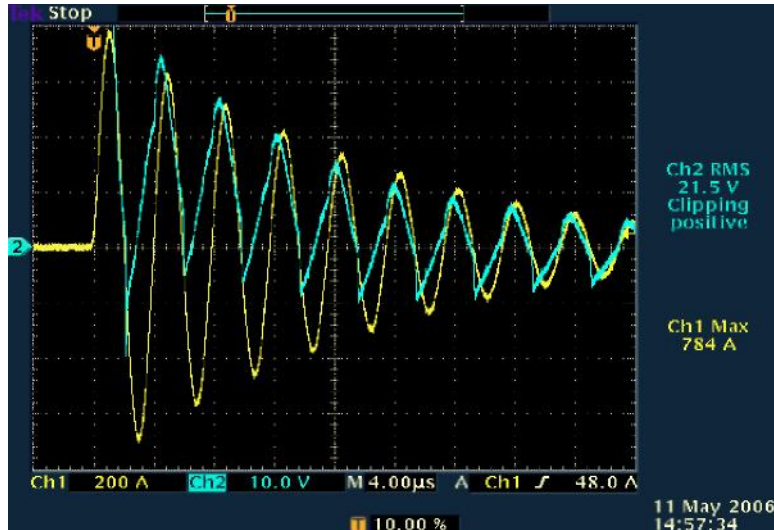


Figure 10. Current through and voltage across the SISG.

Импеданс пропуска SISG появляется как сопротивление на 0.020 ома последовательно с 20нН индуктивность. Для разложения власти каждая секция пропуска рассеивает основной поток СРЕДНЕКВАДРАТИЧНОГО ЗНАЧЕНИЯ петли, согласованный умноженный на 0.020 ома.

Деля напряжение на текущее, мгновенное сопротивление может быть найден как показано в красном в рисунке 11.

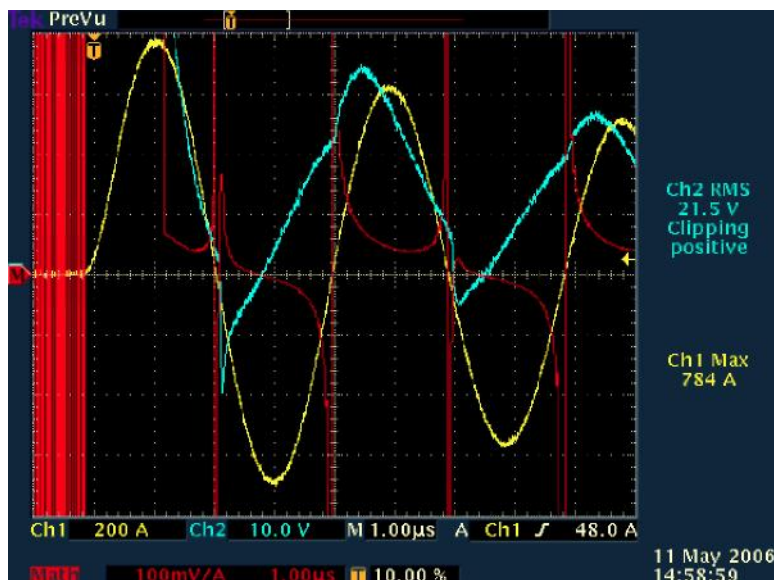


Figure 11. Dynamic resistance (red) at 0.1 ohms/div.

Напряжение ворот на IGBT довольно высоко и может быть подвезено, покупают медленное переключение, индуктивность петли эмитента, Сег, и возможные хиты заголовка. ТЕЛЕВИЗОРЫ на 33 В (Z5) ограничивают напряжение и защищают ворота IGBT в любом случае. В графе, показанном в рисунке 12, напряжение ворот - покупка "немного с плоской вершиной" Z5.

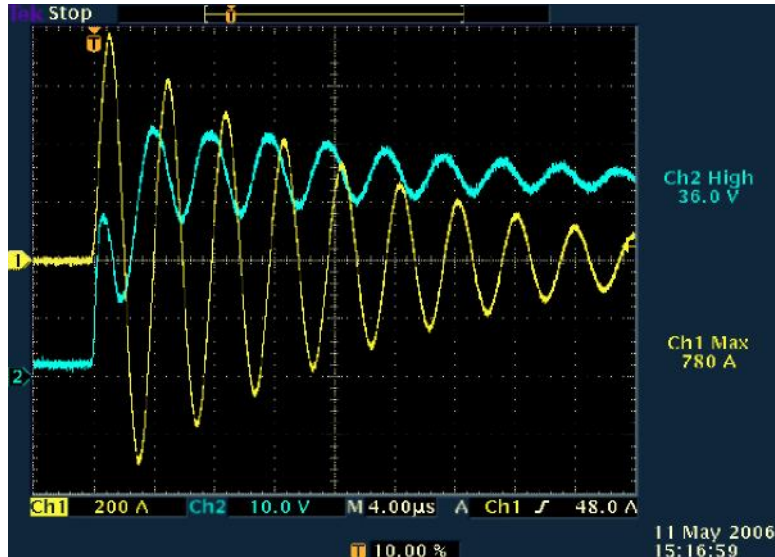


Figure 12. Gate voltage on IGBT during 800 amp operation.

As a first test, a very simple system was configured. This was not optimal and only consumed 14.6 watts of power, but this showed that the basic system could actually control and create sparks. Two prototype SISG modules were telegraphed as shown in Figure 13.

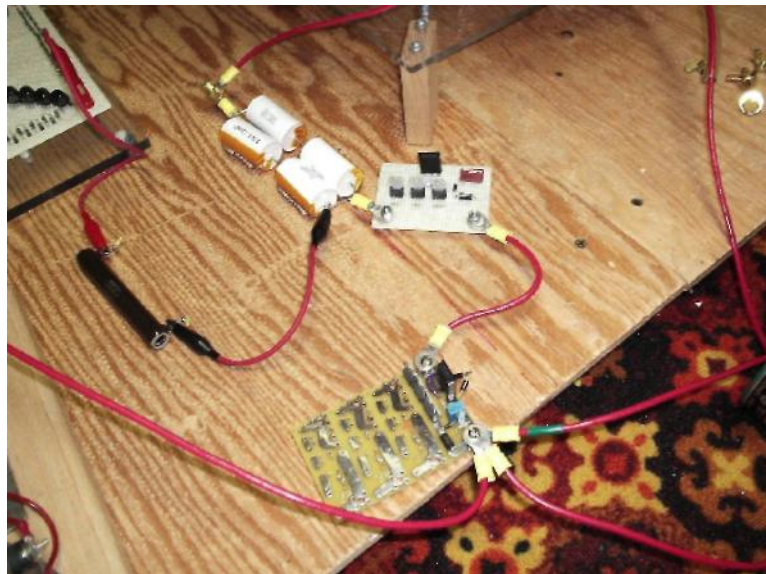


Figure 13. First coil setup with two prototype 900V sections.

Firing voltage 1800V. Primary capacitance 150nF.  $f_0$  105kHz. 60 BPS.

The system could not handle a sharp price change in paper, so a 5-inch gap was made, so the base was configured as shown in Figure 14 and controlled. The system easily forms an arc, a 5-inch gap will be a small IGBT, which will heat up (no heatsink).

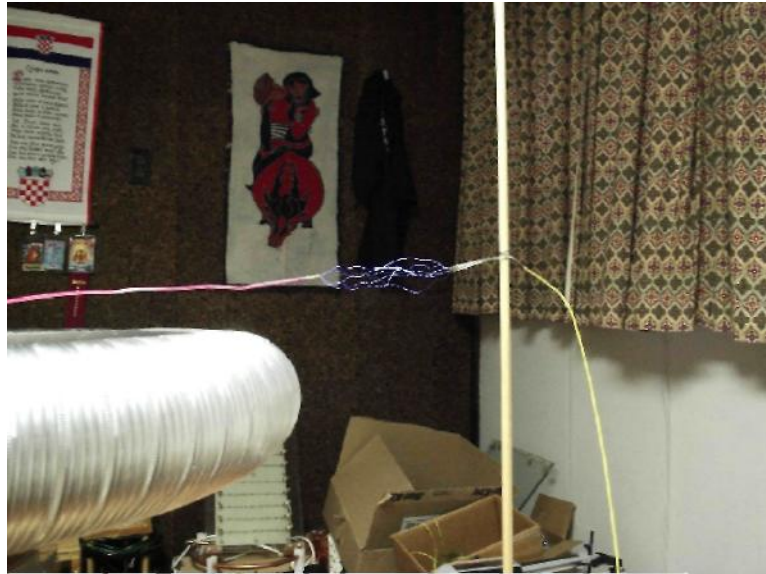


Figure 14. First light at about 14.6 watts power.

## CONSTRUCTION

Система была разработана, чтобы избежать две ОСТРОТЫ и использование шести SISG 900V модули для 5400 В, запускающих напряжение и 150nF основной конденсатор. В 120 БИТАХ В СЕКУНДУ это дает 262 ватта власти, которая должна дать 27.5-дюймовые дуги согласно уравнению Freau. Системные вычисления показывают в рисунке 8, и схематичную систему катушки показывают в рисунке 15.

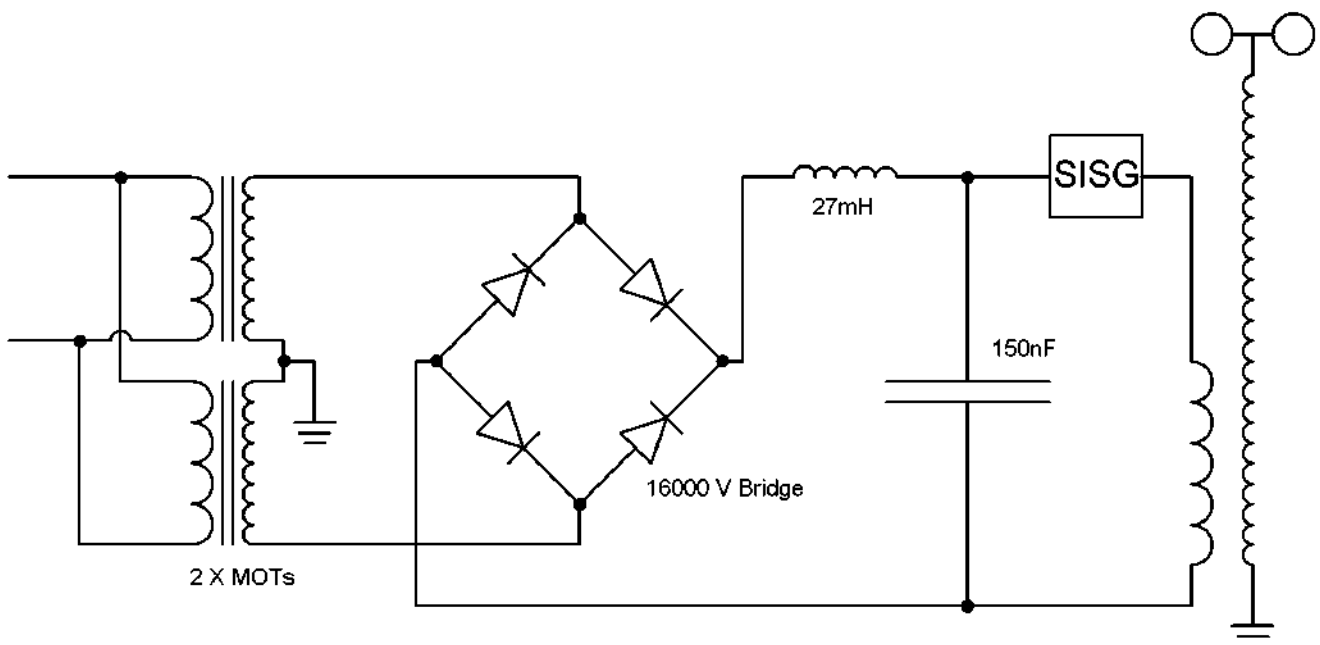


Figure 15. NEW COIL SCHEMATIC.

Предварительно сделанные доски PC от ExpressPCB использовались для модулей. Расположение доски показывают в рисунке 16. Фактическую доску показывают в рисунке 17 меньше IGBTs.

Figure 16. PC board layout for inexpensive "mini-boards".

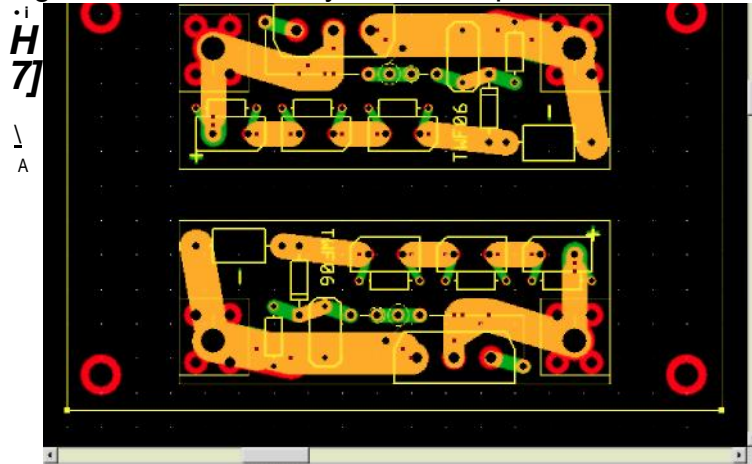


Figure 17. Actual SISG board less IGBTs.

Три доски собраны вместе с соединением проводки, чтобы сделать полное собрание пропуска как показано в рисунке 18. Полное напряжение составляет 5400 В, которые могут быть телеграфированы в приращениях на 900 В.

Существующие IGBTs используют довольно нечетное "СУПЕР ДЛЯ - 247" пакетов. Трудно найти хороший теплоотвод "скрепки" для них, но теплового клея, такого как:

<http://www.siliconacoustics.com/arsiltherad.html> (отгрузка только 1\$ ;-)) хороший выбор. Отметьте, что поклонник увеличит тепловое разложение, по крайней мере, 5X.

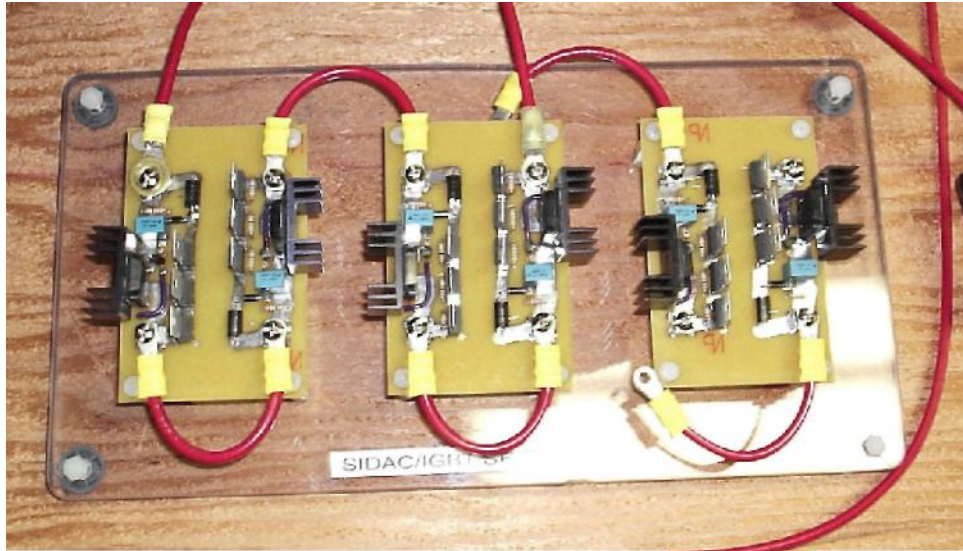


Figure 18. Full SISG assembly with six 900V sections. The other parts such as MOTs, MMC, rectifier and ballast are show in Figure 19.

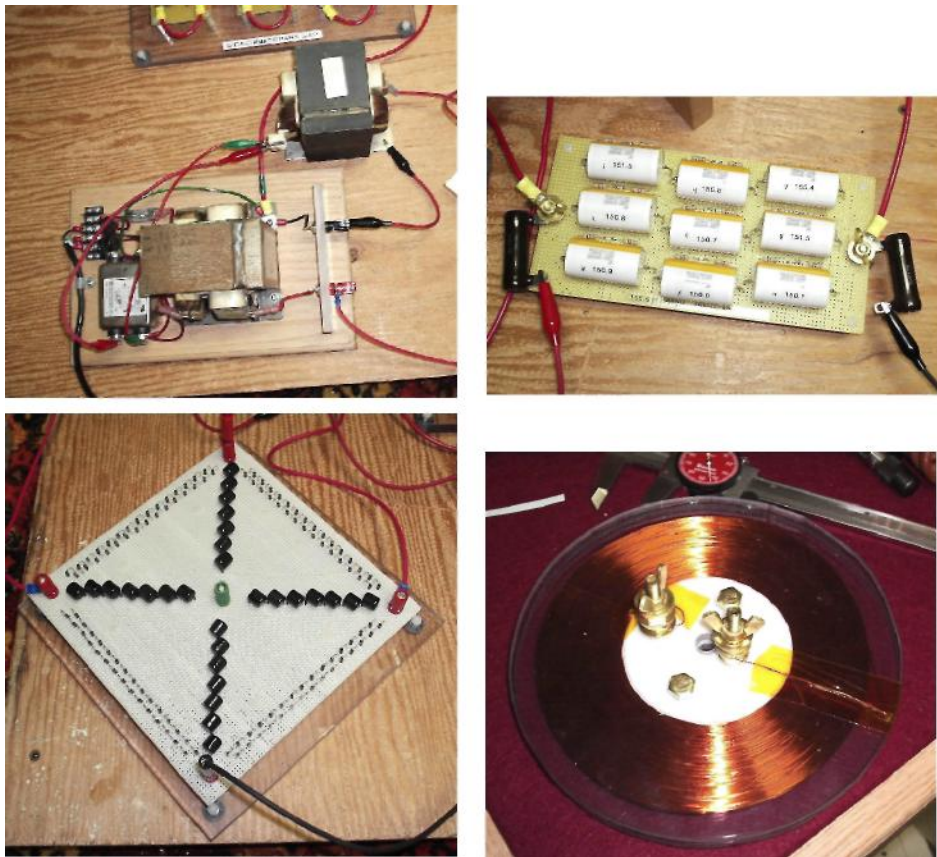


Figure 19. MOTs, MMC, rectifier and ballast. The entire coil system is shown in Figure 20.

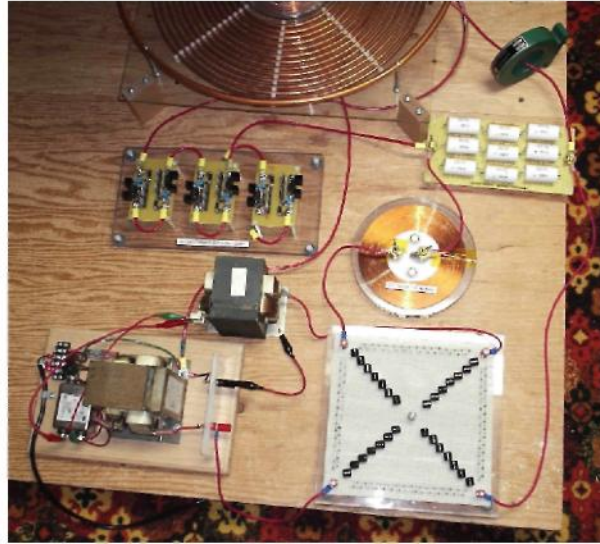


Figure 20. Entire coil system.

#### Specifications:

Primary  
 ID = 6.8"  
 OD = 17.2"  
 Pitch = 0.4"  
 1/4" copper tubing  
 $L = 16.57\mu\text{H}$  (~7 turns)  
 $C = 150.5\text{nF}$   
 Coupling = 0.1726  
 $F = 100.8\text{kHz}$

$I_{\text{peak}} = 512$  Amps  
 Bang Energy = 2.19 Joules

Secondary Dia. =  
 6" Length = 20"  
 1363 turns #28  
 wire  $R_{\text{ac}} = 460$   
 Ohms  $C = 31.1\text{pF}$   
 $L = 73.63\text{mH}$   $F =$   
 105.2kHz

$I_{\text{Prms}} = 22.7$  Amps  
 System power = 263 Watts

#### Testing:

Первого мая 21, система была достигнута в 3600 В и достигла 23-дюймовых дуг, чтобы основать.  
 Системная власть составляла 117 ватт \*

Я рассчитывал бы на ringdown время, будучи без любого заголовка, загружают и регулируют R4 в течение более длительного времени. Я использую 2.2k для 400uS.

Кроме того, я нашел, что, если Вы поднимаете напряжение слишком высоко на системе ОСТРОТЫ, пропуск будет стрелять, говорят 480 БИТОВ В СЕКУНДУ скорее легко в противоположность 120 БИТАМ В СЕКУНДУ. Это увеличивает нагревание 4X(!) без большого увеличения длины заголовка вообще

У меня есть очень небольшая ~1дюймовая площадь heatsinks, и они остаются разумно прохладными. Но нужно рассмотреть большие или пойти к поклоннику, охлаждающемуся во многих случаях.

22 мая 2006

С большим количеством времени система может справедливо легко поразить 24 дюйма в 117W - и 30 дюймов в 183W. Число Freau там 2.22 в обоих случаях. То число кажется "очень постоянным".\*

Я только смог пойти в 5 секций вместо шесть из-за ограниченной области безопасности в моем подвале. С шестью секциями это должно добраться до 263 ватт для 36 дюймов \*

Небольшие теплоотводы добираются до приблизительно температуры тела для коротких промежутков времени, которая является только правильной согласно вычислениям. Большие теплоотводы и/или поклонник были бы хороши для расширенной операции.

Вы должны делать все возможное поднять *varias*, пока не только запуски, чтобы бежать гладко (120 БИТОВ В СЕКУНДУ) и больше. Если Вы поднимаете напряжение слишком высоко, уровень БИТА В СЕКУНДУ может повыситься резко и перегреть IGBTs. Более высокий БИТ В СЕКУНДУ, кажется, не увеличивает длину искры кроме того, чтобы заставлять их казаться забавным. Вид "screetchy".\*

ВТW - У двойной системы ОСТРОТЫ есть чрезвычайно опасная основная система!! Будьте очень осторожны, работая над ними особенно теперь, когда есть электронные схемы и материал в там, чтобы играть с. Будьте крайние уверенный, что власть прочь прежде, чем работать над ними. Будьте очень осторожны в дугах продукции, так как для предварительных выборов к вторичному разрыву, законченному возможно представить смертельные потоки на вторичном. Отметьте также, что основной кругооборот может быть почти в полную силу, но полностью тихий!

Рисунок 21 показывает 30-дюймовые дуги, чтобы основать с 5 секциями, стреляющими в 4500 В и 183 ватта \*



Figure 21. 30 inch arcs to ground at 183 watts.

Для моего теста на 183 ватта СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКИЙ основной поток составляет 11 амперов, таким образом, власть в этих пяти секциях - общее количество на 12 ватт. Таким образом пропуск освобождает приблизительно 6.6 % полной энергии катушки. Единственная другая крупная потеря была бы в моем большом вторичном, сделанном из #28 проводов, которые, вероятно, рассеивают 8 ватт как высокую температуру. Так с 183 ваттами в, приблизительно 163 ватта добираются до заголовка для эффективности 89 %. Это фактически установило бы верхнюю границу ценности Freau 2.35.\*

28 мая 2006

\*Note: было найдено, что системное увольнение довольно хаотическое. Таким образом уровни власти и числа Fgeau не хорошо установлены.

Я больше не уверен в числах Fgeau, которые я дал прежде вообще... Это бежит очень хороший, но я хотел бы, чтобы это было устойчивые 120 БИТОВ В СЕКУНДУ., Вероятно, все дроссельные катушки, ректификаторы, заглавные буквы, и т.д. бездельничая друг с другом... Основной поток, вероятно, намного выше, чем я думал, который хорош, так как нагревание IGBT будет еще менее чем ожидается ;-)

Я смог смотреть на главное напряжение сегодня и сумел заставить моделирования ScanTesla и MicroSim соответствовать как показано в рисунке 22.

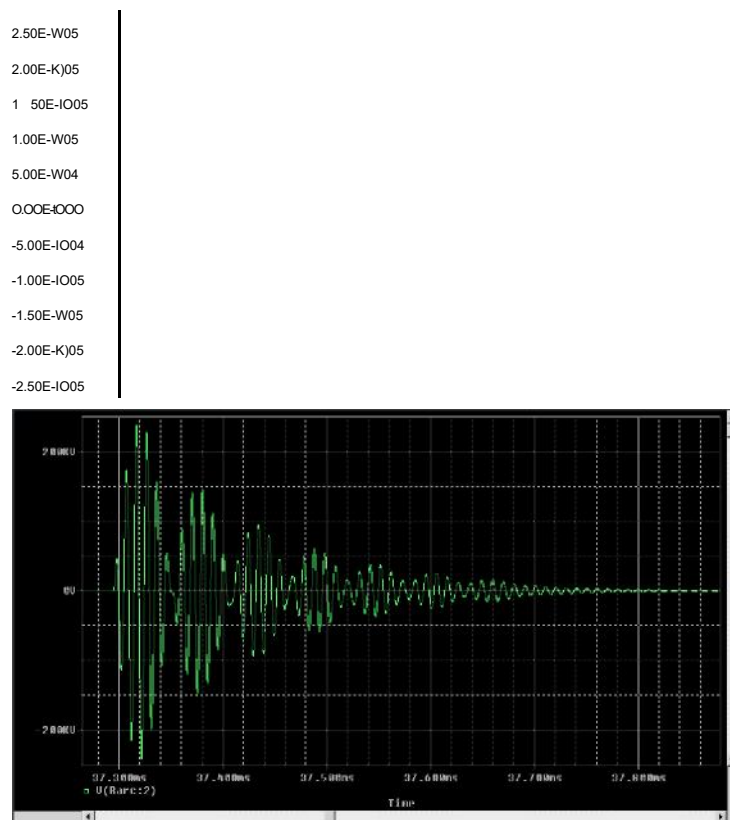


Figure 22. Actual, ScanTesla, and MicroSim simulation

members of the Pupman Tesla Coil Builder's List and Members of 4HV for help, ideas, and encouragement!!!

<http://www.pupman.com>

<http://www.4hv.org>

Note: The SISG design presented here is fully and completely released to the Public Domain.