

VOLTAGE DROP OF THE SACLA AC POWER SUPPLY

Uenishi Masahiko^{A)}, Sekiguchi Yoshihiro^{B)}

^{A)} Spring-8 service Co.,Ltd.

1-20-5 Kohto, Shingucho, Tatsunoshi, Hyogo 679-5165

^{B)} RIKEN

2-1,Hirosawa,Wako-shi,Saitama,351-0198

Abstract

We installed the AC power supply of SACLA by construction. The AC power supply is connected to an inverter power supply. Because of charge and discharge to a modulator, it is necessary to supply pulsatile electricity. The total consumption electricity of approximately 70 modulators extends to 5,000kVA. A severe electric current flows, and repeats relaxing. The influence of the voltage change by the impedance of the distribution system grows big, too. In SACLA, we designed the voltage regulation at less than 10%.

SACLA succeeded in laser oscillation in this June. Because we was able to put it in the predetermined voltage regulation in the machine AC power supply, I report the details.

SACLA 交流電源の電圧降下

1. はじめに

昨年の本学会大会において、XFEL=SACLAの加速器インバータ給電電圧の電圧変動率を基準電圧420V±5%に抑えるための交流電源設備の設計について報告した。加速器インバータ電源はモジュレータに充電する装置である。モジュレータはコンデンサに充放電を繰り返す。そのため、交流電源からの負荷電流は間欠的なパルス状のものになり、電流のあるなしによる系統インピーダンスによる電圧降下が問題となる。特にSACLAの加速器の場合、設計上要求されたのは1台出力65kVAのインバータが78台設置される。すなわち、65kVA×78台=5000kVAもの大電力が短時間に充放電されるのである。電流値が大きいほど、配電系統での電圧降下は大きくなる。それにより負荷端の電圧は低下してしまうのである。充電中の電圧が低くなると、規定の時間内にコンデンサに十分充電されなくなる恐れがある。そのため、電圧変動幅を小さく抑える必要があるのである。その方策として、

1. OLTC (負荷時タップ切替装置) 付特高変圧器の採用

2. 構内配電系統インピーダンスの低減

等の技術を用いた。すなわち、OLTCにより商用電源のゆっくりとした大きな電圧変動を吸収し、構内配電系統のインピーダンスを極力小さくすることにより、負荷電流による電圧降下を抑える、ということである。理論的な計算によると、5000kVAのパルス状電流が流れても、電圧変動幅10%以下に抑えられることがわかった。

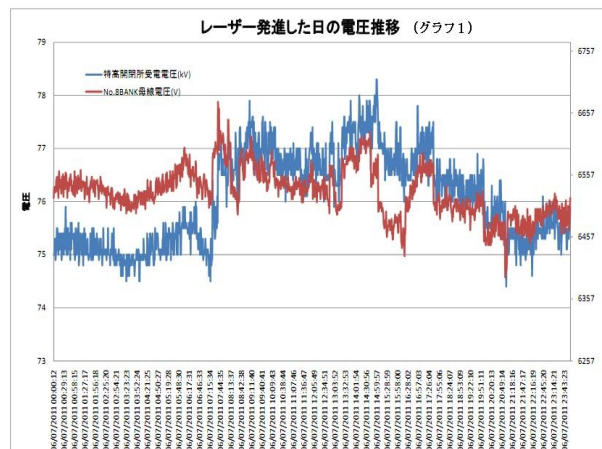
昨年度末よりSACLAは稼働を始め、実測による電圧変動を計測することが可能となったので、その

結果を報告する。

2. 商用電源は変動している

平成23年6月17日、SACLAは1.2オングストロームのX線レーザーの発振に成功した。レーザー発振を確認した時の電圧変動は実際どうであったかを述べる。

Spring-8キャンパスに給電されている電源は、関西電力の500kV西播変電所にて77kVに変圧され、2回線の架空線にて結ばれたテクノポリス変電所を経由して構内の特高開閉所に至る。以下に特高開閉所受電電圧の推移をグラフ1に表す。



青色のグラフが構内受電点である特高開閉所での電圧変動である。需要負荷の少ない夜間には基準電圧の77kVに対して2%程度の低め運用となる。一方、工場やビルなどの大電力を消費する事業所が操業する昼間には、1%程度の高め運用となる。その結果、受電電圧の日変化はグラフのように山形となる。同一時間帯、短時間の間においても500V程度

の細かな電圧変動を繰り返している。

当日における最大値は 78.3kV、最小値は 74.4kV であった。したがって、電圧変動幅は、供給電圧 77kV に対して 5.1% となる。もちろん、その数値は、関西電力の社内管理値である <電圧変動範囲 (70~80kV) 内で電圧変動幅 6% 以内とする> を満たしている。

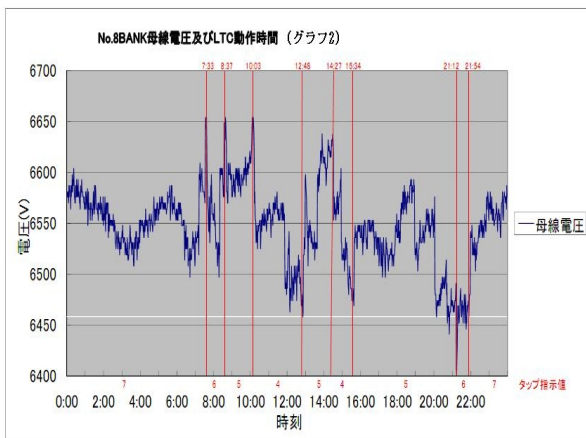
3. OLTC 付特高変圧器、効果あり

受電された電気は、特高開閉所から 77kV 構内配電線路によって特高第 3 変電所に結ばれる。第 3 特高変電所にある XFEL 施設専用として増設された 12MVA 変圧器にて 6.6kV に変圧される。

この特高変圧器は 1 次側電圧 69.3~80.5kV の範囲内に対して、17 タップ構成の OLTC (負荷時タップ切換装置) を有し、精度約 1% の段階制御にて電圧変動を補償する。6.6kV の 1% であるので、66V 幅で制御ができるのであるが、OLTC は機械式スイッチであるので短時間でスイッチすることは不可能であり、また機械的摩擦を減らすために切り替え頻度を制限する必要がある。よって、短時間の細かな電圧変動を吸収することには不適であり、ある程度大きな時間変動を吸収させるものである。

タップ切換指令信号を発生する電圧調整継電器の設定値は、基準電圧を標準値とし、不感帯を制御電圧範囲幅の最小の 1% とした。また、限時整定は、負荷時タップ切換器の耐用切換寿命を考慮して、入力偏差 10% に対して 20 秒となる動作特性を選択した。

その結果、OLTC の動作回数は平日で 6~8 回、休日で 1~3 回であり平均すると 4 回程度である。したがって、OLTC の耐久寿命に悪影響を及ぼす動作頻度には至っていない。なお、休日に動作回数が少ないのは、24 時間を通じて常に 2% 程度の低めの電源系統運用によるものである。OLTC の平日における動作時間とタップ指示値をグラフ 2 に示す。タップ指示値 6 がレギュラータップであり、タップ指示値 7 が、1% 電圧上昇の運用となる。



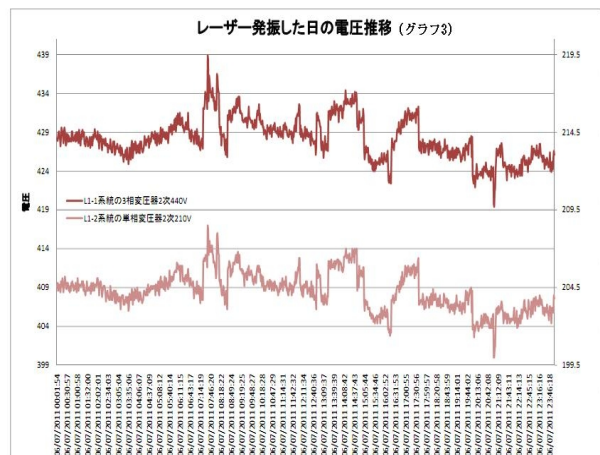
レーザー発振した日における OLTC 付特高変圧器 2 次側の No.8BANK 母線電圧はグラフ 1 の赤色のグラフである。グラフの縦軸を変圧比に対応する目盛

りとしているため、77kV に対して 6,600V が対応している。2 つのグラフの差異は、OLTC の動作状況を表している。その最大値は 6,680V、最小値は 6,390V、電圧変動幅は 4.4% となり、受電点の電圧変動幅 5.1% を改善している。OLTC 付特高変圧器が正常に動作し、電源系統運用の影響による大きな日電圧変動は補償していることが確かめられた。

今後タップ切替制御のパラメータを調整し、タップ切替機の寿命に大きな影響を与えない範囲で、さらに電圧変動幅を小さくする運用を模索していきたい。

4. 400V 系の電圧変動もうまくいった

OLTC 付特高変圧器にて 6.6kV に変圧された電源は、XFEL 施設の屋外変電所にある 2MVA 変圧器にて 440V に変圧される。この電源が加速器設備のインバータ電源として供給される。グラフ 3 に 2MA 変圧器 2 次側電圧を示す(上側の濃い色のグラフ)。

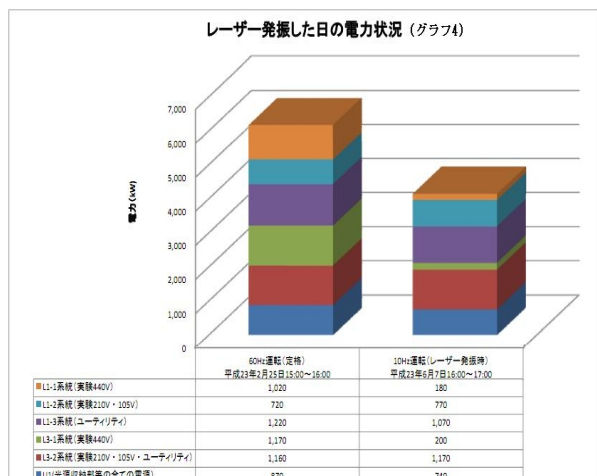


このグラフの形状は、OLTC 付特高変圧器 2 次側の No.8BANK 母線電圧とほぼ同一となっている。また、最大値は 439V、最小値は 419V、電圧変動幅はインバータ電源装置の定格 420V に対して 4.8% となる。インバータ電源装置の使用電圧範囲は $420V \pm 5\%$ である。すなわち、許容幅は 10%、399~441V となる。測定データは、この規定を十分に満足している。さらに、XFEL 変電所とインバータ電源装置間のケーブルでの電圧降下を考慮して設計された結果、使用電圧範囲において基準値 420V 以上、上限値 441V 以下にほぼ収まっていると思われる。

5. SACRA はとても省電力

最大電力を記録した日の 15~16 時の電力とレーザー発振した日の 16~17 時の電力を 6.6kV 分岐回路毎の実績をグラフ 4 に示す。

最大電力を記録した時(H23.2.25)には、SACLA 加速器の最大運転モード 60pps であった。この時の施設全体の消費電力は 6160kW、インバータに給電している 420V 系 (L1-1+L3-1) の消費電力は 2240kW であった。SACLA の名にふさわしい非常に省電力な加速器となったと言える。



レーザー発振時には、低負荷である 10pps 運転であった。この時のインバータ電源装置が消費する電力は、当然ながら 60pps 運転時の約 17% (1/6) となる。一方、同じ実験系統の 3 相 210V 電源や単相 210-105V 電源では、60pps 運転と 10pps 運転とで電力の大きな相違は見られない。

他に加速器設備付帯の冷却設備や空調設備、熱源設備、照明・コンセントなどの電源となるユーティリティ系統がある。このユーティリティ系統の電力は、加速器の運転モードや外気温度、湿度による季節別、時間帯別変動要因により異なる。

今後、より各負荷に近い場所での電力や加速器運転モードの状況を確認し、精度の高い電力管理が実施できるようにしていきたい。これにより、設備や機器が正常に動作しているかを鳥瞰的にチェックでき、年間使用電力量の想定や契約電力の決定に極めて有用である。

6. 電圧変動に弱い機器があった

単相変圧器 2 次側の電圧をグラフ 3 (下側の薄い色のグラフ) に示す。最大値は 209V、最小値は 200V、電圧変動幅は定格電圧 210V に対して 4.3% となる。一般電気機器に対して、標準電圧 200V では 202±20V 以内とする管理値がある。この管理値と比較すると、電圧変動幅に関して電気の品質は良い。

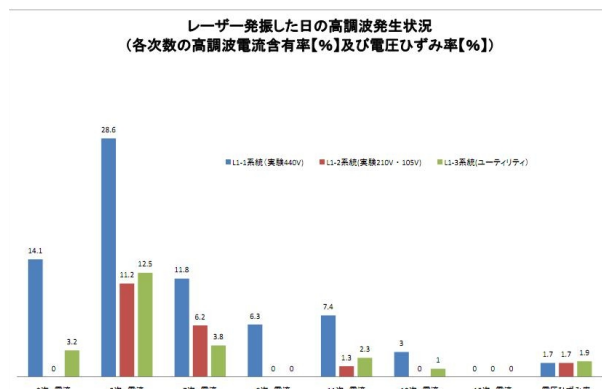
しかしながらこの単相 200V の電源は、クライストロンやサイラトロンのカソードヒーターに給電している。この電圧が変動した場合、クライストロンの電流特性が変化したりサイラトロンの遅延時間が変化したりして、加速 RF の位相や強度が変動する原因となる。現状の電圧変動幅 4.3% が問題となるレベルであることが分かった。

この改善策として、本年度の夏期点検調整期間に必要部分に AVR を設置する工事が予定している。これにより必要部分の電圧を±0.5%まで安定化させたい。

7. 高調波発生量もそれほど大きくない

昨年の平成 22 年度受電申込を関西電力に行う際に、添付資料として高調波発生機器からの高調波流出電流計算書を提出する必要があった。これは、主に高調波を発生するインバータ電源装置 (PFN 高電圧充電器) について、その装置の回路種別となる 3 相ブリッジ 6 パルス変換の係数を用いて次数別高調波出力電流を計算するものである。

実際にレーザー発振を確認した平成 23 年 6 月 7 日 (火) の 10 時頃に計測した高調波発生状況をグラフ 5 に示す。



IL-1 系統 (実験 400V) には、インバータ電源装置があり、それが高調波発生原因となっている。高調波の影響を最も受けるのは、特高第 3 変電所にある力率改善用の進相コンデンサ設備である。高調波対策のために進相コンデンサ設備には、6%の直列リアクトルを装備している。この直列リアクトルの高調波耐量が JIS C4902(1998)の新 JIS に準拠しているため、第 5 高調波電流含有率の許容値は、従来の 35%より大きい 55%以下となっている。また、電圧ひずみ率は 1.7%であり、6.6kV 電路で 3%以下が目標値に対して問題ないレベルであった。だが、今回のデータは低負荷運転時のものであり、今後運転モードの変更や高負荷運転などの状況に応じて、常に監視する必要がある。

8. 電気設備学会学会奨励賞受賞

本施設はマシン交流電源まで含めて、建屋電気設備工事として発注された。加速器装置に近い部分まで一般の建設工事として設置することはまれである。これにより、建築工事や空調工事と総合的に配置を検討することにより SACLA のコンパクト性に貢献できたこと、電圧降下を十分考慮して設計施工に当たったことなどが評価された。電気設備技術の向上にも大きく貢献したとして、学会奨励賞に値するものとされたものである。